

**Titre:** Traitement tertiaire du lisier de porc par un bioréacteur à  
membranes immergées de taille pilote

**Auteur:** Pascal Chevalier

**Date:** 2005

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Chevalier, P. (2005). Traitement tertiaire du lisier de porc par un bioréacteur à  
membranes immergées de taille pilote [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique  
de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/7595/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/7595/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:**  
Advisors:

**Programme:** Non spécifié  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

TRAITEMENT TERTIAIRE DU LISIER DE PORC PAR UN BIORÉACTEUR À  
MEMBRANES IMMERGÉES DE TAILLE PILOTE

PASCAL CHEVALIER  
DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE CIVIL)  
JUN 2005



Library and  
Archives Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Published Heritage  
Branch

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file    Votre référence*

*ISBN: 978-0-494-16764-9*

*Our file    Notre référence*

*ISBN: 978-0-494-16764-9*

#### NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

#### AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

  
**Canada**

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

TRAITEMENT TERTIAIRE DU LISIER DE PORC PAR UN BIORÉACTEUR À  
MEMBRANES IMMERGÉES DE TAILLE PILOTE

présenté par : CHEVALIER Pascal

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. BARBEAU Benoit , Ph.D., président

M. COMEAU Yves, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. KHAROUNE Mourad, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. CHABOT Rock, Ph.D., membre externe

« Un monde meilleur reste une utopie aussi  
longtemps que nous ne l'édifions pas. »

Thomas Moore

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens premièrement à remercier mon directeur de recherche Yves Comeau ainsi que mon codirecteur Mourad Kharoune pour leur confiance, leurs précieux conseils et leur support.

Je tiens également à remercier Envirogain et Zenon Environmental Corporation pour leur support financier et leur assistance technique. Merci particulièrement à Steeve Roberge pour le support technique sur le site du CEPP. J'aimerais aussi remercier le Conseil des Recherches en Pêches et en Agroalimentaire du Québec (CORPAQ) pour avoir financé ce projet.

De plus, j'aimerais remercier le Centre d'excellence en production porcine (CEPP) pour m'avoir accueilli chez eux. Un merci spécial à André Lavergne pour sa collaboration, sa confiance et sa disponibilité lors de mes visites.

Je remercie sincèrement Denis Bouchard pour sa grande aide au niveau des analyses chimiques et de la logistique, ainsi que pour les encouragements.

Enfin, j'aimerais remercier ma femme et meilleure amie, Isabel, pour avoir supportée mes longues absences hebdomadaires et pour m'avoir épaulé dans cette aventure. Merci également à mes deux enfants, Laurie-Jeanne et Manuel, pour me rappeler continuellement ce qui est important dans la vie.

## RÉSUMÉ

L'industrie agricole est maintenant celle qui contribue le plus à la pollution de l'eau au Québec. En plus de causer des problèmes de pollution de l'eau, les modes traditionnels de gestion des lisiers causent des problèmes d'odeurs et de surfertilisation des sols ainsi que des conflits sociaux d'utilisation du territoire. La croissance considérable de production porcine québécoise a causé des surplus importants de lisiers. Les technologies de traitement complet des lisiers apparaissent comme étant une des meilleure façon de minimiser l'impact des productions animales sur l'environnement. La compagnie Envirogain a développé une filière de traitement complet du lisier de porc appelée *Solution Biofertile*.

Le présent projet de recherche visait à intégrer une technologie existante, un bioréacteur à membranes (BRM) immergées, dans la filière de traitement *Solution Biofertile* afin d'en améliorer les performances. Le second objectif de ce projet était de démontrer l'intérêt économique d'utiliser un bioréacteur à membranes immergées en association avec la filière de traitement *Solution Biofertile* pour réduire les coûts d'un rejet sécuritaire de l'effluent traité. La réduction des frais d'énergie et d'opération permettrait d'améliorer l'accessibilité d'une telle chaîne de traitement pour les entreprises porcines existantes.

Les travaux ont été réalisés à l'échelle pilote au Centre d'excellence en production porcine (CEPP), où Envirogain exploitait une filière de traitement *Solution Biofertile*. Les cibles suivantes d'effluent étaient visées : 5 mg MES/L, 5 mg DBO<sub>5</sub>/L, 10 mg NH<sub>4</sub>-N/L, 1 mg P<sub>tot</sub>/L et 200 UFC/100 mL de coliformes fécaux.

Le montage expérimental était principalement composé d'un bioréacteur à membranes (BRM) immergées ZeeWeed® ZW-10 fabriqué par ZENON Environmental inc. Le BRM comprenait entre autres une cuve d'aération de 227 L de capacité et un module de membranes d'ultrafiltration à fibres creuses. L'intégration du BRM dans la filière de traitement s'est faite selon deux scénarios. Durant la phase *DCI-b*, l'effluent décanté du bioréacteur à boues activées a été utilisé pour alimenter le BRM. Lors de la phase *PP*, l'effluent non décanté du procédé électrochimique *Polipur* a été utilisé pour alimenter le BRM.

Ce projet a montré qu'un BRM pourrait remplacer les lits bactériens *Flair* dans la filière de traitement *Solution Biofertile* pour des fonctions d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> et de nitrification, tout en assurant la même performance d'enlèvement du phosphore total ainsi qu'une performance supérieure d'enlèvement des MES et des coliformes fécaux. L'emplacement optimal pour intégrer un BRM dans la filière de traitement *Solution Biofertile* s'est avéré être en aval du *Polipur*. Alimenté par l'effluent non décanté du *Polipur*, le BRM a enlevé 84% de la DBO<sub>5</sub>, 99% des MES, 80% du NTK, 99% du NH<sub>3</sub>-N, 51% du P<sub>tot</sub> et 100% des coliformes fécaux. Nous pouvons donc affirmer que l'intégration d'un BRM en aval du *Polipur* constitue une barrière efficace en ce qui concerne les MES, l'ammoniaque et les coliformes fécaux.

L'intégration d'un BRM après le *Polipur* est le scénario qui présente le plus faible surcoût (environ 0,53 \$/m<sup>3</sup>). Si des *Flair* sont quand même souhaités pour diminuer les émissions de gaz à effets de serre, les réductions de coûts associées à l'intégration d'un BRM permettrait de faciliter grandement l'accès à cette option.



## ABSTRACT

The agricultural industry has become the one that contributes the most to water pollution in Québec. Traditional swine waste management is also causing air quality problems, overfertilization of lands and social conflicts. The considerable growth of the pig production has caused an important manure excess. The technologies for complete treatment of manure appear to be one way of minimizing the environmental impacts of animal productions. Envirogain has developed an integrated pig manure treatment system called *Solution Biofertile*.

The aim of this work was to integrate an immersed membrane bioreactor (MBR) into the pig manure treatment system to improve its performance. The second objective of this work was to demonstrate the economic interest of using an MBR in association with the pig manure treatment system *Solution Biofertile* to reduce the cost of safe discharge of the treated effluent. The reduction in energy and operation costs could facilitate access to that type of pig manure treatment system.

The pilot scale experimentation was done at a small-size pig farm called *Centre d'excellence en production porcine (CEPP)* where Envirogain is operating a *Solution Biofertile* pig manure treatment system. The treatment target were : 5 mg SS/L, 5 mg DBO<sub>5</sub>/L, 10 mg NH<sub>4</sub>-N/L, 1 mg P<sub>tot</sub>/L et 200 CFU/100 mL fecal coliforms.

The experimental setup was mainly composed of a ZeeWeed® ZW-10 immersed membrane bioreactor (MBR) manufactured by ZENON Environmental inc. The aeration tank had a capacity of 227 L and the ultrafiltration membrane module was made of hollow fibers. The integration of the MBR was done in two scenarios. During

phase *DCI-b*, settled bioreactor's effluent was used to feed the MBR. During phase *PP*, unsettled *Polipur*'s effluent was used to feed the MBR.

This project showed that an MBR could replace the trickling filters called *Flair* in the *Solution Biofertile* pig manure treatment system for the removal of BOD and nitrification. This can be done at the same time that a higher total phosphorus removal and a better SS removal is achieved. The optimal location to integrate an MBR in the *Solution Biofertile* pig manure treatment system is after the electro-chemical process called *Polipur*. Fed by the unsettled *Polipur*'s effluent, the MBR removed 84% BOD, 99%  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 99% SS, 51%  $\text{P}_{\text{tot}}$  et 100% fecal coliforms. We can then state that the MBR integration after the *Polipur* constitute an effective barrier for SS, ammonia and fecal coliforms.

The MBR integration after the *Polipur* is the scenario that represents the lower supplementary cost (about 0.53  $\$/\text{m}^3$ ). If the *Flair* is still desired to minimized greenhouse gas emission, the cost reductions associated with the MBR integration would greatly facilitate access to this option.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>DÉDICACE .....</b>	<b>iv</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>v</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>xvii</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....</b>	<b>xviii</b>
 <b>CHAPITRE 1 : INTRODUCTION .....</b>	 <b>1</b>
1.1 Problématique .....	1
1.2 Contexte .....	2
1.3 Objectifs .....	4
 <b>CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE.....</b>	 <b>5</b>
2.1 La production porcine au Québec et ses conséquences environnementales ...	5
2.2 Caractérisation du lisier de porcs .....	7
2.3 Les technologies de traitement du lisier.....	8
2.4 La filtration membranaire .....	11
2.4.1 Définitions et terminologie .....	11
2.4.2 Classification des procédés membranaires.....	13

2.4.3	Configurations des membranes .....	15
2.4.4	Colmatage des membranes.....	19
2.5	Bioréacteurs à membranes .....	21
2.5.1	Définition .....	21
2.5.2	Utilisations de BRM pour le traitement des eaux usées.....	21
2.5.3	Configurations des systèmes de BRM .....	23
2.5.4	Flux et taux de chargement .....	25
2.5.5	Performances et capacités des BRM .....	26
<b>CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODES .....</b>		<b>30</b>
3.1	Présentation du CEPP .....	30
3.2	Filière de traitement biofertil.....	31
3.3	Bioréacteur à membranes immergées zw-10 .....	32
3.3.1	Description du bioréacteur à membranes immergées ZW-10.....	32
3.3.2	Module membranaire ZW-10.....	34
3.3.3	Cuves d'aération et de rétrolavage.....	37
3.3.4	Pompes .....	38
3.3.5	Surpresseur d'air .....	39
3.3.6	Panneau de contrôle .....	39
3.4	Plan expérimental.....	40
3.4.1	Phase DC1-a.....	40
3.4.2	Phase DC1-b.....	41
3.4.3	Phase PP.....	42
3.5	Conditions expérimentales .....	43
3.5.1	Variables contrôlées .....	44
3.5.2	Variables mesurées.....	45
3.5.3	Nettoyages chimiques .....	45

3.6	Analyses .....	46
3.6.1	Échantillonnage.....	46
3.6.2	Méthodes analytiques.....	48
<b>CHAPITRE 4 : RÉSULTATS.....</b>		<b>50</b>
4.1	Présentation des résultats .....	50
4.2	Validation des résultats .....	64
4.2.1	MES et mode de préservation des échantillons.....	64
4.2.2	Bilans de masse .....	65
4.2.3	Autres mesures de validation .....	67
<b>CHAPITRE 5 : DISCUSSION.....</b>		<b>69</b>
5.1	Phase préliminaire.....	69
5.1.1	Rappel méthodologique .....	69
5.1.2	Mise au point des conditions expérimentales.....	71
5.2	Traitement par un BRM de l'effluent décanté du bioréacteur .....	72
5.2.1	Performances.....	73
5.2.2	Atteinte des cibles .....	77
5.3	Traitement par un BRM de l'effluent non décanté du polipur.....	77
5.3.1	Performances.....	78
5.3.2	Atteinte des cibles .....	79
5.4	Choix des cibles du projet.....	80
5.5	Modifications au fonctionnement de la filière de traitement biofertilisante.....	80
5.2	Étude technico-économique .....	82
<b>CHAPITRE 6 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....</b>		<b>86</b>

<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>89</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>98</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Comparaison des caractéristiques des lisiers de porcs .....	7
Tableau 2.2 : Description des principales technologies de traitement des lisiers et des solides en développement au Québec .....	10
Tableau 2.3 Terminologie utilisée dans le procédés membranaires .....	12
Tableau 2.4 Caractéristiques générales des procédés membranaires .....	14
Tableau 2.5 Configurations des membranes .....	16
Tableau 2.6 Paramètres typiques d'utilisation de BRM.....	26
Tableau 2.7 Comparaison des performances de BRM.....	29
Tableau 3.1 Caractéristiques du module membranaire ZW-10 .....	37
Tableau 3.2 Conditions expérimentales pour l'étude pilote.....	44
Tableau 3.3 Analyses et conservation des échantillons .....	48
Tableau 3.4 Méthodes analytiques .....	49
Tableau 4.2 Mesures de validation et valeurs de contrôle .....	67
Tableau 4.3 Moyennes de rapports typiques de liqueur mixte du BRM.....	67
Tableau 5.1 Comparaison des performances de traitement par BRM et par d'autres procédés .....	70
Tableau 5.2 Performances du BRM comparées à celles du <i>Flair</i> .....	76
Tableau 5.3 Coûts d'un BRM pour une station biofertilisatrice collective de 80 m <sup>3</sup> /d .....	83
Tableau 5.4 Comparaison de surcoûts associée à l'intégration d'un BRM à une station collective Biofertilisatrice de 80 m <sup>3</sup> /d .....	84

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Schéma général d'un procédé membranaire.....	13
Figure 2.2	Comparaison des intervalles d'opération des procédés membranaires et des principaux constituants des eaux usées .....	15
Figure 2.3	Schéma de fonctionnement d'un module plan.....	17
Figure 2.4	Isométrie et vue en coupe d'un module spiralé .....	18
Figure 2.4	Membrane à fibre creuse .....	19
Figure 2.5	Schémas de bioréacteurs à membranes : a) bioréacteur à membranes en boucle externe, et b) bioréacteur à membranes immergées .....	24
Figure 2.6	Schéma d'un BRM avec zone anoxie séparée.....	27
Figure 3.1	Vue extérieure du CEPP .....	30
Figure 3.2	Schéma du procédé BIOFERTILE utilisé au CEPP :.....	32
Figure 3.3	Bioréacteur à membranes immergées ZeeWeed® ZW-10 .....	33
Figure 3.4	Schéma du module membranaire ZW-10 .....	35
Figure 3.5	Photo de membranes à fibres creuses ZeeWeed® .....	36
Figure 3.6	Schéma de l'installation pour la phase DC1-a.....	41
Figure 3.7	Schéma de l'installation pour la phase DC1-b .....	42
Figure 3.8	Schéma de l'installation pour la phase PP .....	43
Figure 4.1	Courbes de distribution de fréquences des MES pour les phases DC1-a & DC1-b .....	50
Figure 4.2	Courbes de distribution de fréquences des MES pour la phase PP .....	51
Figure 4.3	Évolution de la concentration de liqueur mixte et des matières volatiles en suspension dans le réacteur .....	52



Figure 4.4 DCO à l’affluent et l’effluent .....	53
Figure 4.5 Taux de chargement de DCO et rapport F/M .....	53
Figure 4.6 Ammoniaque à l’affluent et l’effluent .....	54
Figure 4.7 Nitrates à l’affluent et l’effluent .....	55
Figure 4.8 Azote Kjeldahl total à l’affluent et l’effluent .....	55
Figure 4.9 Phosphore total à l’affluent et l’effluent .....	56
Figure 4.10 Phosphates à l’affluent et l’effluent .....	56
Figure 4.11 pH à l’affluent et l’effluent .....	57
Figure 4.12 Coliformes fécaux à l’affluent .....	57
Figure 4.13 Évolution de la pression transmembranaire .....	58
Figure 4.14 Flux et différence de pression durant les différentes phases .....	59
Figure 4.15 Évolution de la perméabilité relative .....	60
Tableau 4.1 Tableau synthèse des résultats d’analyses et des rendements des différentes phases .....	62
Figure 4.16 Concentrations de minéraux .....	63
Figure 4.17 Résultats des bilans massiques de la phase DC1-b .....	65
Figure 4.18 Résultats des bilans massiques de la phase PP .....	66
Figure 5.1 Schéma simplifié de fonctionnement de la filière Biofertilisatrice collective et points d’intégration d’un BRM. ....	81

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A	Estimation budgétaire des coûts d'un BRM.....	96
ANNEXE B	Calculs des coûts d'amortissement d'un BRM.....	100
ANNEXE C	Analyses et validation de l'affluent.....	104
ANNEXE D	Analyses et validation de la cuve du BRM.....	112
ANNEXE E	Analyses et validation de l'effluent.....	120
ANNEXE F	Analyses et validation des boues extraites.....	128
ANNEXE G	Analyses du flux et de la perméabilité.....	134
ANNEXE H	Analyses des métaux.....	137
ANNEXE I	Réglages du BRM.....	141
ANNEXE J	Rendements.....	146
ANNEXE K	Bilans hydrauliques.....	152
ANNEXE L	Bilans de masse.....	160

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

BOD <sub>5</sub>	« Five-day biochemical oxygen demand », demande biochimique en oxygène à 5 jours
BRM	Bioréacteur à membranes
BRMI	Bioréacteur à membranes immergées
CEPP	Centre d'excellence en production porcine
COD	« Chemical oxygen demand », demande chimique en oxygène
CORPAQ	Conseil des Recherches en Pêches et en Agroalimentaire du Québec
CUM	Communauté urbaine de Montréal
DBO <sub>5</sub>	Demande biochimique en oxygène sur une période de 5 jours
DC1	Décanteur 1 de la chaîne de traitement Biofertile
DCO	Demande chimique en oxygène
DCOt	Demande chimique (totale) en oxygène
DCOf	Demande chimique (filtrée) en oxygène
F/M	Rapport éléments nutritifs-biomasse
Fw	Flux mesuré
Fw <sub>20</sub>	Flux mesuré (normalisé à 20°C)
HRT	« Hydraulic retention time », temps de rétention hydraulique
Kw	Perméabilité
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

MBR	« Membrane bioreactor », bioréacteur à membranes
MENV	Ministère de l'Environnement
MES	Matières en suspension
MLSS	« Mixed liquor suspended solids », concentration de solides en suspension dans la liqueur mixte
MLT	Moyenne à long terme
MLVSS	« Mixed liquor volatile suspended solids », concentration de solides volatiles en suspension dans la liqueur mixte
MVES	Matière volatile en suspension
NH <sub>4</sub> -N	« Ammonium nitrogen », azote ammoniacale
NTK	Azote totale Kjeldahl
N <sub>tot</sub>	Azote total
OER	Objectif environnemental de rejet
o-PO <sub>4</sub>	Orthophosphates
PAEF	Plan agro-environnemental de fertilisation
ppm	Parties par millions
PP, <i>Polipur</i>	Procédé de polissage électrochimique à la station de traitement du CEPP
P <sub>tot</sub>	Phosphore total
REA	Règlement sur les exploitations agricoles
SRT	« Sludge retention time », temps de rétention des boues
TSS	« Total suspended solids », total des solides en suspension
TRB	Temps de rétention des boues
TKN	« Total Kjeldahl nitrogen »

TMP	Pression transmembranaire
TRH	Temps de rétention hydraulique
UFC	Unités formatrices de colonies

## **CHAPITRE 1 : INTRODUCTION**

### **1.1 PROBLÉMATIQUE**

Au cours des 50 dernières années, le Québec est progressivement passé à un modèle d'agriculture beaucoup plus intensif caractérisé par une augmentation de la productivité. Durant cette période, le nombre de porcs en élevage a quadruplé pour atteindre en 2001 près de 7 millions de porcs produits annuellement. La quantité de déjections animales a augmentée conséquemment. Cette croissance du cheptel porcin n'a pas été uniforme sur tout le territoire, entraînant des concentrations d'activités dans certaines régions. Par exemple, les bassins versants des rivières Chaudières, Yamaska et L'Assomption regroupent près de 65% de la production porcine de la province. Cette forte densité a des impacts importants sur la qualité des eaux de ces régions (BAPE, 2003).

Suite aux investissements majeurs faits depuis les années soixante-dix en assainissement urbain et industriel, les eaux usées de près de 98% de la population québécoise sont traitées. Les activités agricoles représentent maintenant la plus grande source de pollution de l'eau. Pour l'ensemble du secteur agricole, environ 32 millions de mètres cubes de fumiers et de lisiers sont produits annuellement au Québec. De ce nombre, 10 millions de mètres cubes sont produits annuellement par l'industrie porcine, dont 5 à 8 millions de mètres cubes seraient en surplus. On considère qu'il y a surplus de phosphore dans une région lorsque les besoins des surfaces cultivées sont dépassés par la quantité de phosphore contenu dans les lisiers et fumiers (BAPE, 2003).

L'épandage des surplus de déjections animales a plusieurs impacts environnementaux, dont la contamination des eaux, la détérioration des sols et les problèmes d'odeurs. De plus, il y a eu depuis quelques années, d'importantes coupes de forêts dans certaines régions dans le seul but d'obtenir de nouveaux espaces pour épandre les surplus. Le phosphore est le nutriment le plus en surplus lors de la fertilisation (BAPE, 2003).

La production porcine représente un secteur économique important au Québec avec plus de 3 milliards de dollars de ventes et près de 30 000 emplois. Cette bonne performance économique, attribuable en bonne partie à la croissance rapide de la production, a cependant donné naissance à une grande controverse sociale. Plusieurs consultations publiques et recherches ont été réalisées ces dernières années pour réduire les impacts environnementaux de ce secteur. Une solution pour réduire les nuisances environnementales dans les zones en surplus consiste à effectuer un traitement et une valorisation des lisiers. Le coût de ce type de traitement doit cependant être diminué et son fonctionnement simplifié pour en favoriser l'implantation chez les producteurs porcins (BAPE, 2003).

## 1.2 CONTEXTE

La gestion des lisiers au Québec doit se faire en respectant le Règlement sur les exploitations agricoles (REA). Ce règlement stipule qu'un équilibre doit être atteint d'ici 2010 entre les quantités de phosphore épandues et la capacité réceptrice des sols. Pour y arriver, les agriculteurs devront bientôt adopter des pratiques de gestion des lisiers telles que la réalisation d'un plan agro-environnemental de fertilisation (PAEF) et un bilan de phosphore (MENV, 2005). Dans les cas où les fermes se retrouvent dans des zones en surplus, les lisiers doivent être transportés sur de grandes distances pour procéder à leur épandage. Une alternative envisageable dans cette situation serait d'effectuer un traitement partiel ou complet des lisiers. Cependant, le développement de ces technologies est assez récent et plusieurs incertitudes demeurent en ce qui les concerne. C'est pourquoi un programme de subvention pour la réalisation de projets de recherche ou d'adaptation technologique des fumiers a été mis en place par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Le Conseil des recherches en Pêches et en Agroalimentaire du Québec (CORPAQ) en assure la supervision. Les principaux objectifs de ce programme sont d'acquérir des

connaissances scientifiques novatrices sur les procédés de traitement des fumiers et de valorisation de leurs sous-produits et de soutenir la réalisation de travaux d'adaptation technologique devant conduire à la démonstration de la viabilité technico-économique de technologies de traitement des fumiers (CORPAQ, 2003).

La compagnie Envirogain inc. a développé un traitement complet de lisier de porc appelé *Solution Biofertile*. Cette filière de traitement a entre autres été installée et opérée dans une ferme école de Saint-Anselme (le CEPP, Centre d'Excellence en Production Porcine) grâce au programme de vitrines technologiques du MAPAQ. La filière de traitement *Solution Biofertile* est constituée principalement d'une séparation physique primaire (FILTRAMAT), d'un bioréacteur à boues activées, d'un filtre à lit ruisselant (*Flair*) et d'un traitement électrochimique (*Polipur*). Le présent projet de recherche, en participant au programme d'adaptation technologique des fumiers, vise à intégrer une technologie existante, un bioréacteur à membranes immergées, dans la filière de traitement *Solution Biofertile* afin d'en réduire les coûts d'opérations. La possibilité qu'un BRM puisse remplacer le *Flair* dans la filière de traitement *Solution Biofertile* pour des fonctions d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> et de nitrification constitue la première hypothèse de ce projet de recherche. La seconde hypothèse de ce projet consiste en la possibilité qu'un BRM intégré en aval du *Polipur* puisse constituer une barrière efficace en ce qui concerne les MES, l'ammoniac et les coliformes fécaux. Ce projet comporte deux étapes : pré faisabilité et étude pilote. La première étape, réalisée en laboratoire par Bastien Renault, a permis de déterminer la capacité d'un bioréacteur à membranes (BRM) immergées à épurer un effluent prétraité par la filière de traitement *Solution Biofertile* et de tester la stabilité d'un tel équipement ainsi que sa robustesse (Renault, 2004).



### 1.3 OBJECTIFS

Le premier objectif de cette étude était de confirmer la possibilité d'intégrer un bioréacteur à membranes immergées (BRM) dans la filière de traitement *Solution Biofertile* pour en améliorer les performances ainsi que pour réduire les coûts d'un rejet sécuritaire de l'effluent traité, conformément aux exigences du ministère de l'Environnement (MENV) ou pour la réutilisation hygiénique à l'intérieur même de la ferme. Les travaux ont été réalisés à l'échelle pilote au CEPP. Les cibles suivantes d'effluent étaient visées : 5 mg MES/L, 5 mg DBO<sub>5</sub>/L, 10 mg NH<sub>4</sub>-N/L, 1 mg P<sub>tot</sub>/L et 200 UFC/100 mL de coliformes fécaux.

Le second objectif de la présente étude était de démontrer l'intérêt économique d'utiliser un BRM en association avec la filière de traitement *Solution Biofertile*. La réduction des frais d'énergie et d'opération permettrait d'améliorer l'accessibilité d'une telle chaîne de traitement pour les entreprises porcines existantes (Comeau et al., 2003).

## **CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE**

### **2.1 LA PRODUCTION PORCINE AU QUÉBEC ET SES CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES**

La production laitière est traditionnellement la principale production animale québécoise, mais elle a maintenant été presque rattrapée par la production porcine. En effet, cette dernière a connu une forte croissance de près de 325% au cours des trente dernières années. De plus, le nombre d'entreprises porcines a diminué avec l'industrialisation de la production et leur taille a grossi de façon importante. En soixante ans, le nombre d'entreprises porcines est passées au Québec de 110 000 à 2800, alors que le nombre de têtes est passé pour la même période de 80 à 1600 par ferme (BAPE, 2003).

Graduellement, la production porcine s'est spécialisée et elle a adopté de nouvelles techniques, principalement au niveau de l'alimentation, des bâtiments, des équipements, des règles de biosécurité et des modes de gestion des lisiers. En 2001, près de 98% du cheptel québécois de porcs était géré sous forme de lisier (aussi appelé fumier liquide). Ce mode de gestion des fumiers est économiquement avantageux pour le producteur, particulièrement en terme de réduction de main-d'œuvre. Dans les bâtiments actuels d'élevage, les porcs sont élevés sur un plancher latté sous lequel sont recueillies leurs déjections et chaque porc dispose en moyenne de moins de un mètre carré d'espace (BAPE, 2003).

Il y a quelques décennies, l'élément considéré le plus important au moment d'implanter une ferme d'élevage était la proximité avec la terre et les sols environnants. Ceci était important à la fois pour l'alimentation des animaux et pour épandre les déjections animales produites. Les porcs s'alimentent principalement de céréales contrairement aux bovins qui se nourrissent surtout de fourrages. Étant donné la facilité de transport de leur nourriture, les entreprises porcines ont pu se développer hors des

régions productrices de céréales. C'est ce qui a également causé la concentration de ces entreprises dans certaines régions. De nos jours, plus de 30% des fermes porcines ne possèdent pas de sol pour épandre leur lisier et près de 60% des fermes doivent conclure des ententes pour épandre leur lisier ailleurs. Il y a donc eu un grand besoin de terres pour l'épandage des lisiers, entraînant d'importantes activités de déforestation dans certaines régions. De plus, des surfaces importantes ont dûes être dédiées à des monocultures de céréales telles que le maïs (culture exigeante en phosphore) pour alimenter les porcs (MENV, 2003).

De sérieux impacts environnementaux sont causés par la production porcine. La surfertilisation des terres avec le lisier fait en sorte que l'azote et le phosphore ne sont plus absorbé par les végétaux. Ces éléments nutritifs peuvent alors se retrouver dans les eaux de surface ou souterraines, s'accumulant à l'échelle des bassins versants. Plusieurs lacs et cours d'eau sont aux prises avec des problèmes d'eutrophisation. Ce phénomène entraîne un enrichissement en élément nutritifs faisant proliférer les algues et les plantes aquatiques, dont certaines telles que les cyanobactéries, produisent des toxines. D'autres éléments contenus dans les lisiers, comme les nitrates et les microorganismes, peuvent aussi contaminer les eaux. Une récente étude a montré qu'il y a une plus grande proportion de puits affectés par les nitrates dans les zones d'agriculture intensive et que la fréquence d'une contamination bactériologique y est plus élevée (MENV, 2004).

La production porcine a aussi des effets sur la qualité de l'air par le biais d'émissions de gaz à effets de serre (méthane,  $\text{NO}_x$ ), de gaz causant des pluies acides comme l'ammoniaque ainsi que de gaz toxiques et malodorants comme le sulfure d'hydrogène lors de l'entreposage des lisiers. Le principal élément de mobilisation sociale contre l'augmentation de la production porcine est certainement le problème des odeurs. Aux périodes d'épandages, les problèmes d'odeurs vont même affecter des régions urbaines pourtant situées à de grandes distances des lieux de production (BAPE, 2003).

L'utilisation excessive d'antibiotiques dans l'industrie porcine a aussi des conséquences sur l'environnement. En Amérique du Nord, près de la moitié des antibiotiques sont utilisés par le secteur agricole, entre autres pour accélérer la croissance des animaux en prévenant les maladies. L'usage abusif d'antibiotiques cause le développement de souches de bactéries pathogènes résistantes qui sont de plus en plus difficiles à traiter. Des études ont montré que des gènes de résistance aux antibiotiques se retrouvent dans le lisier de porcs et conséquemment dans le sol où ce lisier est épandu (Juteau, 2003).

## 2.2 CARACTÉRISATION DU LISIER DE PORCS

Les lisiers bruts de porcs représentent un type d'eau usée très chargée qui contiennent des charges polluantes de 200 à 500 fois plus élevées qu'une eau usée domestique typique (Baril, 2002). Les caractéristiques des lisiers varient selon leur mode de gestion, les équipements utilisés et les catégories d'animaux élevés. En effet, une entreprise qui élève des porcs à l'engraissement produit un lisier plus chargé qu'une entreprise élevant des truies et porcelets non sevrés (CRAAQ, 2003). Le tableau 2.1 présente les valeurs de référence utilisées pour les lisiers de différentes catégories de production porcine. La composition moyenne du lisier dans une structure d'entreposage est d'environ 97% d'eau et de 3% de matières sèches (IRDA, 2003).

**Tableau 2.1 : Comparaison des caractéristiques des lisiers de porcs (adapté de IRDA, 2003)**

Type de lisier	Matière sèche (%)	N total (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	P total (mg/L)	C/N (g/g)
Porcs en engraissement	3,2	4 200	3 400	1035	4
Truies et porcelets non sevrés	2,0	2 600	2 200	810	3

### 2.3 LES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DU LISIER

Pour réduire les impacts environnementaux de la production porcine, plusieurs technologies de traitement des lisiers ont été développées. Elles se divisent en deux types: les traitements partiels et les traitements complets.

Dans le cas d'un traitement partiel, une partie importante des charges fertilisantes se retrouve concentrée dans la partie solide. Ceci peut permettre à un producteur en surplus d'épandre la partie liquide sur une surface réduite de terres agricoles et de valoriser les solides à la ferme ou dans un centre régional (Juteau, 2003). Le traitement complet, quant à lui, vise à épurer suffisamment le lisier pour pouvoir en rejeter le plus grand volume au cours d'eau. Pour ce type de traitement, il n'y a donc pas de sous-produits liquides à épandre dans les champs (BAPE, 2003).

La partie solide devrait quant à elle être transformée en sous-produits stabilisés, sans odeurs et exempts de pathogènes (composts matures ou granules de fertilisant par exemple). Ces derniers produits sont considérés comme ayant une valeur ajoutée et peuvent être vendus pour réduire le coût net d'un traitement. Il faut cependant noter qu'un traitement complet ne va pas nécessairement stabiliser et désodoriser la partie solide. Par exemple, l'effluent liquide d'un traitement d'osmose inverse (considéré traitement complet pour la partie liquide) pourrait être rejeté au cours d'eau sans que les boues produites ne soient stabilisées, désodorisées et exemptes de pathogènes (Juteau, 2003).

Une première difficulté rencontrée lors du traitement du lisier est sa charge polluante élevée (charge organique, azote et phosphore). On doit donc adapter les équipements standard de traitement des eaux usées. La deuxième difficulté rencontrée est le faible volume à traiter. En effet, près 5 mètres cubes de lisier sont produits quotidiennement par une ferme de porcs en engraissement alors qu'environ 8 mètres cubes de lisier sont produits quotidiennement par une ferme de type naisseur-finiisseur (truies et porcelets

non sevrés) de 160 truies. Une troisième difficulté est le coût d'un traitement. Pour être accessible, le traitement doit être compétitif économiquement avec les alternatives qui s'offrent aux producteurs porcins et son coût doit comprendre tous les frais de gestion des sous-produits liquides et solides. Une quatrième difficulté rencontrée est que les traitements doivent pouvoir être facilement opérés et ne pas demander trop d'intervention de la part du producteur porcin (Fortin, 2004).

Les traitements des fumiers et lisiers peuvent être regroupés en deux grandes catégories : les traitements biologiques et les traitements physico-chimiques. Parmi les traitements biologiques, on retrouve le compostage, les traitements biologiques aérobies et les traitements biologiques anaérobies. Parmi les traitements physico-chimiques, on retrouve les traitements de séparation solide-liquide et les traitements thermiques. Il est possible de combiner plusieurs procédés dans une même filière. Les filières de traitement peuvent être installées soit individuellement à la ferme, soit de façon collective pour regrouper plusieurs producteurs ou en unités mobiles. Le tableau 2.2 présente les principales technologies de traitement des lisiers en développement au Québec. Les coûts de ces technologies varient selon les objectifs de traitements partiels ou complets. On estime que les coûts des traitements partiels varient de 5 \$ à 10 \$/m<sup>3</sup>, alors que les coûts des traitements complets varient de 5 \$ à 15 \$/m<sup>3</sup>. On doit ajouter à ces montants les frais de gestion des sous-produits (Fortin, 2004).

**Tableau 2.2 : Description des principales technologies de traitement des lisiers et des solides en développement au Québec (adapté de Fortin, 2004)**

Technologie	Description	Commentaires
<b>SÉPARATION SOLIDE-LIQUIDE</b>		
Séparateur FAN (Équipements Laliberté)	Presse à vis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne permet pas le rejet au cours d'eau de la partie liquide</li> <li>• Le phosphore est concentré dans les boues</li> <li>• Capacité variable à extraire le phosphore</li> <li>• Épandage plus uniforme</li> <li>• Boues non stabilisées</li> <li>• Nécessite de dupliquer les techniques d'entreposage, de manutention et d'épandage</li> </ul>
Procédé Séquencia (Aliments Breton)	Tamis et flocculateur avec ajout de polymères	
Décanteur Centrifuge (Alfa-Laval, Westfalia, Peralisi)	Décanteur centrifuge	
Maximiser	Tamis	
SLS technologies inc.	Séparateur centrifuge avec ajout de dolomite	
Purin Pur*	Séparation – ultrafiltration – osmose inverse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement complet et compact</li> <li>• Récupération de tous les fertilisants.</li> <li>• Système complexe</li> <li>• Durée de vie des membranes, risque de colmatage et coûts d'opération non confirmés</li> <li>• Sous-produits solides conservent un potentiel d'odeur et représentent 50% du volume initial</li> </ul>
<b>TRAITEMENT BIOLOGIQUE AÉROBIE</b>		
DEC	Réacteur aérobique (BIO-DEC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement complet du lisier (voir la section Séchage thermique des solides)</li> </ul>
INRS – Institut Armand-Frappier	Biotraitement aérobique thermophile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dégradation de la matière organique et odeurs</li> <li>• Élimination de l'azote ammoniacal</li> <li>• Destruction des microorganismes pathogènes</li> </ul>
BIOSOR* (CRIQ)	Décantation naturelle ou mécanique suivie d'un traitement biologique aérobique dans des médias filtrants à base de mousse de tourbe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'eau peut être rejetée dans un champ d'épuration ou entreposée pour irrigation</li> <li>• Traite en partie l'air des bâtiments</li> <li>• Requiert peu d'énergie</li> <li>• Nécessite beaucoup d'espace</li> </ul>
F3L (Groupe Dynaco)	Traitement biologique aérobique par des levures	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produits sans odeurs</li> <li>• Traite en partie l'air des bâtiments</li> <li>• Produit une biomasse protéique</li> <li>• Nécessite peu d'énergie</li> </ul>
<b>TRAITEMENT BIOLOGIQUE AÉROBIE &amp; ANOXIE</b>		
BIOFERTILE* (Envirogain)	Bioréacteur aérobique-anoxie jumelé à un filtre à presse, une unité de polissage de l'eau et un filtre pour les odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement complet qui vise le rejet de l'effluent au cours d'eau après polissage</li> <li>• Système compact et modulable selon la taille et l'objectif de traitement</li> <li>• Le phosphore est concentré dans des boues stabilisées</li> </ul>

**Tableau 2.2 : Description des principales technologies de traitement des lisiers et des solides en développement au Québec (suite)**

<b>TRAITEMENT BIOLOGIQUE ANAÉROBIE</b>		
BIO-TERRE* (Bio-terre Systems Inc.)	Digestion anaérobie à température ambiante générant des biogaz pouvant alimenter une génératrice ou une bouilloire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produits sans odeurs</li> <li>• Valorisation énergétique permet de réaliser une économie</li> <li>• Faible consommation énergétique</li> <li>• Traitement de l'effluent nécessaire avant de pouvoir l'utiliser pour le lavage ou le rejet au cours d'eau</li> </ul>
<b>COMPOSTAGE</b>		
Biomax (Compost-Air) Éco-Compost (meunerie J.B. Dionne)	Ajout au lisier de fumier de poulet ou de sciure de bois et compostage dans des cellules ventilées	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume final produit environ le même que le volume initial de lisier</li> <li>• Marché limité pour le compost</li> <li>• Perte d'azote</li> </ul>
<b>TRAITEMENT THERMIQUE</b>		
AGRIOR (Fertior et Envirogain)	Centre régional de séchage et granulation des boues de lisiers et des fumiers solides	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne traite pas le lisier brut, mais les boues issues d'un traitement initial</li> <li>• Coût de transport peut être élevé si le producteur est loin du site</li> <li>• Coût énergétique élevé</li> <li>• Produit des engrais organiques granulés</li> </ul>
DEC	Centre régional composé : séchoir à plateaux (DEC 2000) et unité de granulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement complet du lisier</li> <li>• Coût de transport peut être élevé si le producteur est loin du site</li> <li>• Coût énergétique très élevé</li> <li>• Produit des engrais organiques granulés</li> </ul>

\* Technologie ayant bénéficié du programme d'aide à l'implantation de vitrines de traitement à la ferme du MAPAQ

## 2.4 LA FILTRATION MEMBRANAIRE

### 2.4.1 Définitions et terminologie

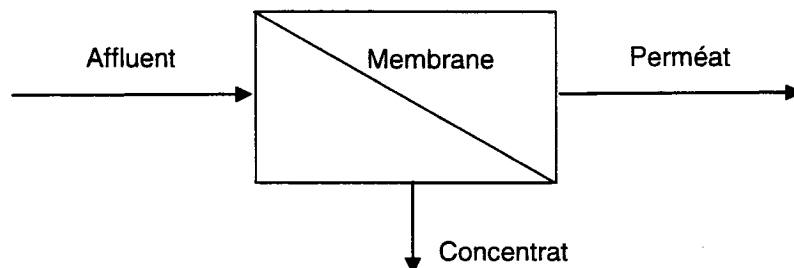
La filtration d'un liquide, dans son sens général, peut être définie comme étant l'enlèvement de ses composantes particulaires et colloïdales (Metcalf & Eddy, 2003). Ceci peut être accompli en retenant ces composantes sur un support perméable, semi-perméable ou dans un lit de matériaux granulaires. La filtration membranaire enlève, en plus des composantes particulaires et colloïdales, certaines composantes dissoutes (Stephenson et al., 2000). Le rôle le plus courant des membranes est de servir de barrière sélective de façon à permettre le passage de certaines composantes d'un liquide alors qu'elle retient certaines autres composantes (Cheryan, 1998 ; Livingston, 1994).



La force motrice permettant la séparation membranaire peut être une différence de pression, une différence de potentiel électrique ou une différence de concentration (Katsikaris et al., 2005). Les termes utilisés couramment en filtration membranaire et utilisés dans la présente étude sont présentés au tableau 2.3 et à la figure 2.1.

**Tableau 2.3 Terminologie utilisée dans le procédés membranaires (adapté de Metcalf & Eddy, 2003)**

TERME	DESCRIPTION
Affluent	Liquide entrant dans le module membranaire
Concentrat, rejet	Portion de l'affluent qui ne passe pas à travers la membrane et qui contient une concentration plus élevée de solides
Colmatage	Dépôt et accumulation de matériel solide sur la membrane
Flux	Taux de transfert massique ou volumique à travers la surface de la membrane
Membrane	Unité comprenant un groupe de membranes planes ou cylindriques assemblées de façon à fournir une surface nominale de filtration
Module membranaire	Unité complète, comprenant les membranes, la structure générale de support, l'entrée pour l'affluent et la sortie pour le perméat et le concentrat
Perméat	Portion du liquide d'alimentation qui passe à travers la membrane et qui contient une concentration moins élevée de solides
Pression transmembranaire	Différence de pression entre le côté d'alimentation et le côté du perméat
Seuil de rétention des molécules	Plus petit poids moléculaire rejeté par la membrane, habituellement en dalton (D)



**Figure 2.1 Schéma général d'un procédé membranaire**

#### **2.4.2 Classification des procédés membranaires**

Les procédés membranaires regroupent la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF), l'osmose inverse (OI), la dialyse et l'électrodialyse (ED). Ces procédés sont classifiés selon les critères suivants : le type de matériaux qui les composent, le type de force d'entraînement, le mécanisme de séparation ainsi que la taille nominale des particules enlevées (Metcalf & Eddy, 2003).

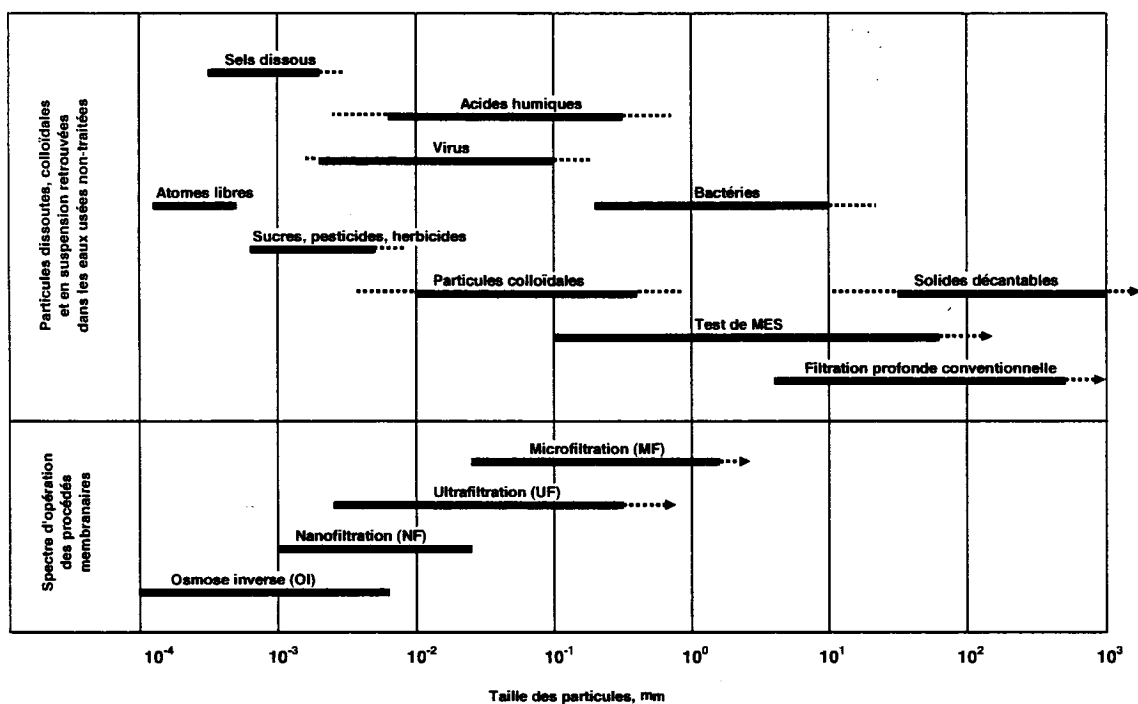
Les matériaux de membranes peuvent être catégorisés soit de matériaux denses ou poreux, selon le mécanisme de séparation. La séparation par des matériaux denses s'effectue par interactions physico-chimiques entre les composantes du liquide filtré et le matériel de la membrane. Ce type de séparation est utilisé par les procédés de séparation qui ont la sélectivité la plus élevée (osmose inverse par exemple). Les matériaux poreux vont quant à eux accomplir la séparation mécaniquement par exclusion de grosseur de particules où les substances rejetées peuvent être dissoutes ou en suspension selon la grosseur des pores. Les membranes vont être plus précisément fabriquées à partir de matériaux organiques (polymères) ou inorganiques (céramiques ou métalliques) (Judd, 2003). Les membranes inorganiques ont une plus grande résistance chimique et thermique, mais leur coût est élevé (Bouchard et al., 2000). La

plupart des membranes utilisées en traitement des eaux usées sont fabriquées à partir de matériaux organiques. Les membranes polymériques ont tendance à se compacter, ce qui peut diminuer leur perméabilité. C'est pourquoi les manufacturiers vont spécifier des gammes de pression d'utilisation. Le tableau 2.4 présente les caractéristiques générales des procédés membranaires, alors que la figure 2.2 compare les intervalles d'opération des procédés membranaires et les principaux constituants des eaux usées.

**Tableau 2.4 Caractéristiques générales des procédés membranaires (adapté de Metcalf & Eddy, 2003)**

Procédés membranaires	Force d'entraînement de membrane	Mécanisme de séparation typique	Taille des pores	Intervalle d'opération ( $\mu\text{m}$ )	Composantes enlevées
Microfiltration	Différence de pression hydrostatique	Tamassage	Macropores ( $>0,05 \mu\text{m}$ )	0,08 – 2,0	MES, turbidité, protozoaires, certaines bactéries et virus
Ultrafiltration	Différence de pression hydrostatique	Tamassage	Mésopores ( $0,002 - 0,05 \mu\text{m}$ )	0,005 – 0,2	Macromolécules, particules colloïdales, plupart des bactéries, certains virus, protéines
Nanofiltration	Différence de pression hydrostatique	Tamassage, diffusion et exclusion	Micropores ( $< 0,02 \mu\text{m}$ )	0,001 – 0,01	Petites molécules, certaines duretés, virus
Osmose inverse	Différence de pression hydrostatique	Diffusion et exclusion	Dense ( $< 0,02 \mu\text{m}$ )	0,0001–0,001	Très petites molécules, couleur, dureté, sulfates, nitrates, sodium et autres ions
Dialyse	Différence de concentration	Diffusion	Mésopores ( $0,002 - 0,05 \mu\text{m}$ )	-	Macromolécules, particules colloïdales, plupart des bactéries, certains virus, protéines
Électrodialyse	Force électromotrice	Échange d'ions avec membranes sélectives	Micropores ( $< 0,02 \mu\text{m}$ )	-	Ions

La figure 2.2 illustre la classification des procédés membranaires selon leurs intervalles d'opération.



**Figure 2.2** Comparaison des intervalles d'opération des procédés membranaires et des principaux constituants des eaux usées (adapté de Metcalf & Eddy, 2003 ; Stephenson et al., 2000)

### 2.4.3 Configurations des membranes

Les configurations de membranes sont soit basées sur une géométrie plane ou cylindrique. Elles se divisent en quatre principales catégories de modules:

- les modules à membranes planes
- les modules spiralés
- les modules tubulaires
- les modules de fibres creuses

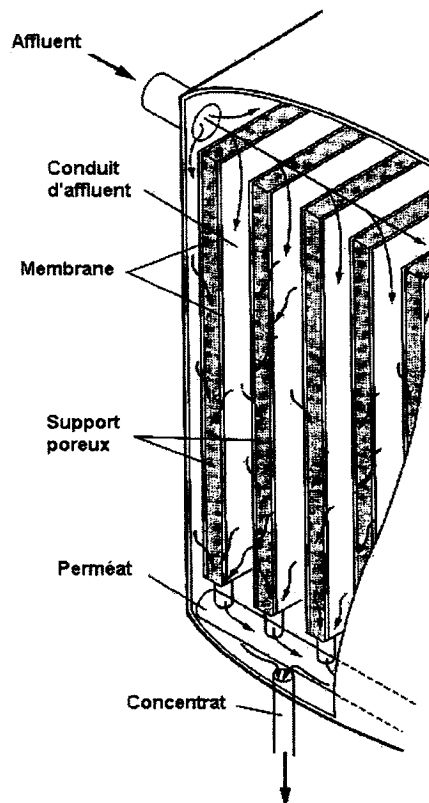
Le tableau 2.5 présente les avantages et inconvénients propres à chacune de ces configurations de membranes.

**Tableau 2.5 Configurations des membranes (adapté de Judd, 2003)**

Configurations	Rapport surface/volume (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Coût	Turbulence	Rétrolavage	Utilisations <sup>a</sup>
Planes	100-300	Élevé	Moyenne	Non	<b>ED</b> , UF, OI
Spiralées	800-1 200	Bas	Faible	Non	<b>OI</b> , NF, UF
Tubulaires	150-300	Très élevé	Très bonne	Non	MF
Fibres creuses	10 000-20 000	Très bas	Très faible	Oui	<b>MF</b> , UF, OI

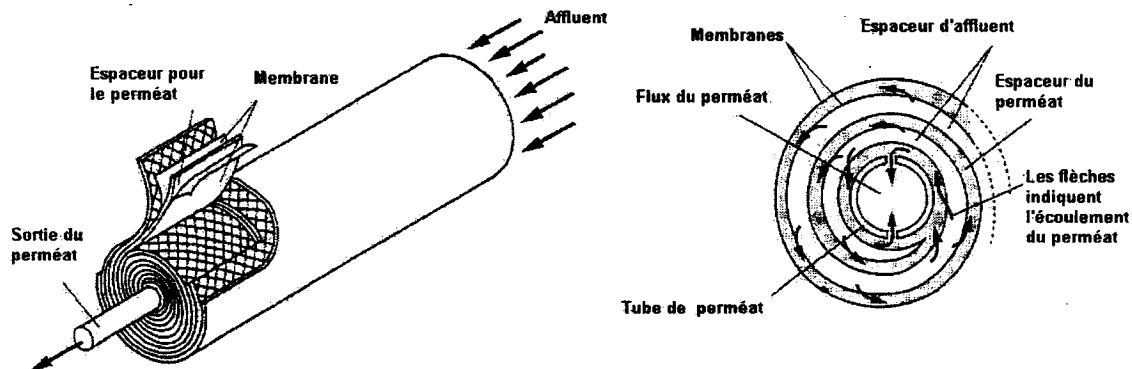
<sup>a</sup> L'utilisation la plus courante est en caractères gras

Les modules plans sont constitués de feuilles de membranes posées sur des supports poreux et des cadres. Pour ce genre d'application, un module de membranes planes peut comprendre plusieurs dizaines d'éléments membranaires recueillant le perméat à l'intérieur de chacun d'entre eux. Les configurations planes sont surtout limitées à l'électrodialyse et aux utilisations sous basses pressions (microfiltration et ultrafiltration) (Judd 2003). La figure 2.3 montre le schéma de fonctionnement d'un module plan.



**Figure 2.3 Schéma de fonctionnement d'un module plan (adapté de Metcalf & Eddy, 2003)**

Un module spiralé est constitué d'une membrane plane scellée sur trois côtés. Le côté non scellé est relié à un conduit perforé recueillant le perméat et un élément espaceur flexible est ajouté sur la membrane plane. Ensuite, ces deux éléments sont enroulés en spirale autour du conduit perforé. L'élément espaceur sert de conduit pour l'alimentation et de promoteur de turbulence.

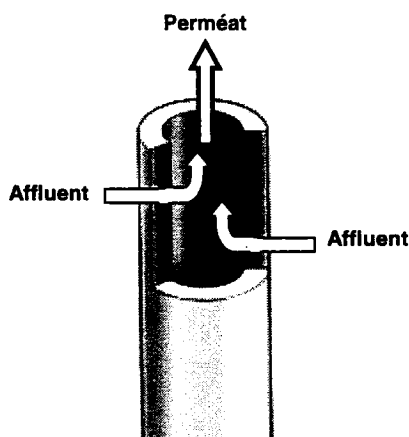


**Figure 2.4 Isométrie et vue en coupe d'un module spirale (adapté de Metcalf & Eddy, 2003)**

Les modules tubulaires sont constitués de plusieurs membranes cylindriques reliées aux extrémités à un conduit sous pression. L'alimentation se fait à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur. Le concentrat quant à lui continue de s'écouler à travers l'intérieur du tube. Cette configuration donne facilement accès à la surface des membranes colmatées. Il est facile de les nettoyer en injectant un produit chimique à l'intérieur et en nettoyant mécaniquement cet espace avec de petites balles de mousse qui y circulent en raclant la paroi (Bouchard et al., 2000). Ces facteurs font en sorte que les modules de membranes tubulaires sont surtout utilisés pour les eaux fortement chargées de solides.

Les membranes à fibres creuses ont aussi une forme tubulaire, mais leur diamètre est inférieur. Les fibres creuses sont caractérisées généralement par un diamètre inférieur à 2 mm (Buisson et al., 1998). Étant donné que la résistance mécanique d'un tube augmente lorsque son diamètre diminue, les membranes à fibres creuses sont autoportantes et elles n'ont pas besoin d'être supportées par un tube rigide (Stephenson et al., 2000). Leur faible diamètre permet d'obtenir le rapport le plus élevé de surface de filtration par volume occupé. L'alimentation peut se faire de l'intérieur vers l'extérieur ou de l'extérieur vers l'intérieur. Les membranes sont assemblées en faisceaux et leurs extrémités sont encastrées dans des capsules qui isolent le perméat de l'eau à traiter (Bouchard et al., 2000). Les fibres creuses ont davantage tendance à

s'encrasser en raison d'un moins bon contrôle sur les conditions hydrodynamiques. Elles peuvent être périodiquement nettoyées à l'aide de rétrolavages. Ce type de membrane est simple à fabriquer et c'est celui dont le coût est le moins élevé (Zeman et al., 1996).



**Figure 2.4** Membrane à fibre creuse (adapté de ZENON, 2004)

#### **2.4.4 Colmatage des membranes**

Le colmatage d'une membrane peut être décrit comme étant la diminution graduelle du débit de perméation (pour une pression constante) causé par l'accumulation de particules sur la surface et à l'intérieur des pores de la membranes (Bouchard et al., 2000). On considère ce phénomène comme l'élément principal qui limite l'utilisation à plus grande échelle des procédés membranaires. Le colmatage des membranes est un élément qui aura une incidence sur les besoins de prétraitement, les nettoyages requis, les conditions d'utilisation, le coût et la performance du système (Metcalf & Eddy, 2003). Quand ce phénomène se produit, il peut y avoir rétrécissement des pores, blocage des pores ou formation d'un gâteau. Lorsque la concentration de particules augmente près de la membrane (polarisation de la concentration), le colmatage est favorisé. Pour contrôler le colmatage des membranes, on utilise principalement cinq méthodes :



1. Prétraitement de l'affluent. Un prétraitement peut être appliqué à l'affluent pour réduire la concentration en solides et en microorganismes (Metcalf & Eddy, 2003). Un conditionnement chimique peut aussi être implanté pour limiter la précipitation sur la membrane.
2. Réduction du flux de perméation. Généralement, le colmatage colloïdal est plus important que le colmatage particulaire (Bouchard et al., 2000). Il existe un flux critique à partir duquel une accumulation de matières colloïdales a lieu (Field et al., 1995). Si le flux de perméation est réduit sous cette valeur critique, une utilisation stable de la membrane est possible.
3. Rétrolavages. Une autre méthode courante pour contrôler le colmatage est d'effectuer des rétrolavages de la membrane en effectuant une pulsation de perméat à contre-courant. Ces rétrolavages peuvent être effectués de façon cyclique et automatisée. Il faut cependant noter que cette méthode a pour désavantage d'engendrer une perte de perméat (Judd, 2003).
4. Aération turbulente. L'aération turbulente quant à elle est produite en utilisant un diffuseur situé en dessous du module de membranes. La grande quantité de bulles d'air grossières montant le long de la membrane aide à induire des contraintes de cisaillement, favorisant ainsi le rétrotransport des floccs déposés sur la surface des membranes (Shimizu et al., 1996).
5. Lavages chimiques. Le lavage chimique des membranes peut être fait à partir de plusieurs types de produits. On utilise principalement les solutions acides pour enlever les dépôts inorganiques, les solutions basiques et les agents tensioactifs pour enlever la matière organique alors que les désinfectants sont utilisés pour prévenir la croissance de microorganismes (Bouchard et al., 2000). Le choix des produits chimiques doit aussi être fait en fonction de la

nature du matériau membranaire (limites de pH et de température ainsi que tolérance au chlore, aux autres désinfectants et aux acides). Le colmatage est considéré comme étant irréversible quand des méthodes simples de nettoyage chimique des membranes ne permettent pas de corriger une diminution progressive du flux de perméation (Stephenson et al., 2000).

## 2.5 BIORÉACTEURS À MEMBRANES

### 2.5.1 Définition

On peut définir généralement le concept de bioréacteur à membrane (BRM) comme étant la combinaison d'un bioréacteur à biomasse suspendue avec une séparation par membranes de microfiltration ou d'ultrafiltration. Dans un tel système, le procédé conventionnel de boues activées est modifié de façon à remplacer les décanteurs par une filtration membranaire (Cicek et al., 1998).

### 2.5.2 Utilisations de BRM pour le traitement des eaux usées

On utilise depuis le début des années 1970 des procédés membranaires de microfiltration (MF) et ultrafiltration (UF) pour remplacer des décanteurs secondaires servant au traitement de boues activées (Smith et al., 1969). Dans un bioréacteur à membranes, le couplage d'un procédé membranaire avec un procédé à boues activées offre plusieurs avantages (Metcalf & Eddy, 2003; Adham et al., 2001; Muller et al., 1995 ; Yamamoto et al., 1989) :

- un temps de rétention hydraulique (TRH) plus court;
- un temps de rétention des boues (TRB) plus élevé, résultant en une moins grande production de boues (aucune purge dans certains cas);

- un âge de boues plus élevé permet le développement de microorganismes à croissance lente ainsi qu'un meilleur enlèvement des composés azotés et de la matière organique réfractaire;
- une excellente qualité d'effluent en terme de turbidité, de bactéries, de matières en suspension (MES) et de demande biochimique en oxygène (DBO);
- un espace requis moindre que les procédés conventionnels de traitement des eaux usées.

Certains inconvénients sont reliés à l'utilisation d'un BRM : des coûts d'achat élevés, des données limitées sur la durée de vie des membranes, des coûts potentiellement élevés de remplacement périodique des membranes et le besoin de contrôler le colmatage des membranes (Metcalf & Eddy, 2003). De plus, les boues de BRM sont constituées de floccs de plus petites tailles en raison du TRB plus long et de la forte agitation de la cuve d'aération. Le traitement des boues extraites peut donc s'avérer problématique en raison de leur faible potentiel de filtration et de décantation (Cicek et al., 1999a).

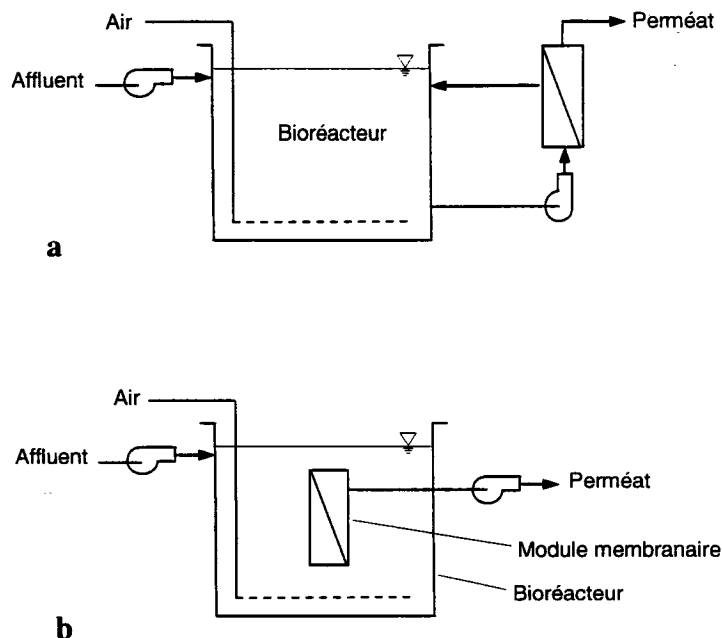
Dans le secteur municipal nord-américain, plus de 15 stations d'épuration des eaux usées utilisent actuellement des BRM pour des débits journaliers allant jusqu'à 9 500 m<sup>3</sup>/d. La plupart de ces installations sont des rénovations de stations d'épuration existantes. Dans ces cas, l'utilisation des BRM permet d'améliorer la qualité de l'effluent et d'augmenter les capacités de traitement en utilisant peu d'espace (Côté et al., 2000). De plus, des usines de traitement des eaux usées qui réutilisent leur effluent pour l'irrigation de terres étudient l'emploi de BRM pour réduire les quantités de sulfure produit dans les conduites d'eaux usées traitées. La production de cet élément dans le réseau de transport cause des problèmes de toxicité, de corrosion et de mauvaises odeurs. En nitrifiant complètement et en réduisant la quantité de matière organique dans l'eau traitée, les BRM peuvent empêcher l'apparition de conditions

anaérobies, de biofilms et par conséquent de production de sulfure dans les conduites (Delgado et al., 2002).

### **2.5.3 Configurations des systèmes de BRM**

Les bioréacteurs à membranes sont composés principalement d'un réacteur responsable de la dégradation biologique et d'un module membranaire séparant la liqueur mixte de l'eau traitée. Les BRM utilisent deux configurations: les bioréacteurs à membranes en boucle externe et les bioréacteurs à membranes immergées (figure 2.5).

Les BRM en boucle externe constituent la première génération de bioréacteurs à membrane (Manem et al., 1996). Dans un tel système, la liqueur mixte circule à travers un module membranaire situé à l'extérieur du bioréacteur. Le fait d'avoir une boucle externe de filtration augmente les coûts énergétiques. De plus, les pompes de recirculation imposent des contraintes de cisaillement importantes, ce qui contribue à détruire les flocs de biomasse et diminue l'activité biologique (Côté et al., 1998).



**Figure 2.5 Schémas de bioréacteurs à membranes : a) bioréacteur à membranes en boucle externe, et b) bioréacteur à membranes immergées (adapté de Metcalf & Eddy, 2003)**

Dans un BRM immergées, le module de membranes de microfiltration ou d'ultrafiltration est directement dans le réacteur à boues activée. La filtration est accomplie en appliquant une pression négative du côté du perméat. Ainsi, le perméat passe à travers la membrane alors que les solides demeurent dans le bioréacteur. Ce type de configuration réduit beaucoup la consommation énergétique attribuable à la filtration (Côté et al., 1998). De l'air est injecté directement sous le module membranaire pour maintenir les solides en suspension dans le bioréacteur et pour nettoyer la surface extérieure des membranes. L'aération augmente l'efficacité de l'enlèvement du gâteau et diminue la pression de succion requise pour la filtration (Ueda et al., 1997). Cet air sert également à fournir de l'oxygène pour maintenir des conditions aérobies (Metcalf & Eddy, 2003).

#### 2.5.4 Flux et taux de chargement

Plusieurs variables ont une influence sur le flux et le taux de chargement choisi pour l'utilisation des bioréacteurs à membranes. Les principales sont la pression transmembranaire (TMP), la taille des pores des membranes, le type d'eau usée et les caractéristiques de la biomasse (Manem et al., 1996).

Les BRM sont typiquement alimentés avec un flux variant entre 5 et 300 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, correspondant à un flux spécifique d'environ 20 à 200 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup>. Les taux de chargement se situent quant à eux typiquement entre 1,2 et 3,2 kg DCO m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> (Stephenson et al., 2000). Les performances épuratoires semblent peu varier lorsque le temps de rétention hydraulique (TRH) se situe entre 2 et 24 heures. De plus, la qualité du perméat est peu influencée par le temps de rétention des boues (TRB) lorsque la valeur de ce dernier se situe entre 5 et 3500 jours (aucune purge de boues). Une certaine amélioration de l'efficacité épuratoire est notée lorsque le TRB est augmenté jusqu'à une valeur d'environ 30 jours. Lorsque la valeur de la concentration de matières en suspension dans la liqueur mixte (MLSS) est fixée, la production de boues est inversement proportionnelle au TRH. Le plus petit TRH et la production minimale de boues ne peuvent donc pas être atteints au même moment (Yoon et al., 2004a).

**Tableau 2.6 Paramètres typiques d'utilisation de BRM (adapté de Stephenson et al., 2000)**

Paramètres	Unités	Valeurs typiques
Charge en DCO	kg/(m <sup>3</sup> · d)	1,2 – 3,2
MLSS	mg/L	5 000 – 20 000
MLVSS	mg/L	4 000 – 16 000
F / M	g DCO/(g MLVSS · d)	0,1 – 0,4
TRB	d	5 - 20
TRH	h	4 - 6
Flux	L/(m <sup>2</sup> · d)	600 – 1 100
Succion appliquée	kPa	4 - 35
Oxygène dissous	mg/L	0,5 – 1,0

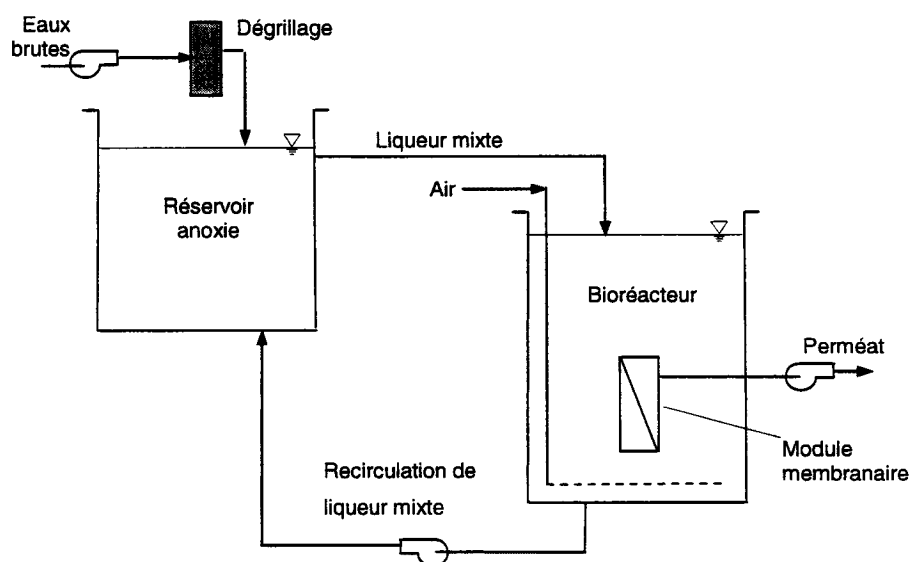
### 2.5.5 Performances et capacités des BRM

D'après une revue de littérature effectuée par (Stephenson et al., 2000)), un enlèvement de la DBO de 90% à 97% a été obtenu avec des BRM (Côté et al., 1997; Ueda et al., 1996; Trouve et al., 1994). Les concentrations correspondantes de DBO dans le perméat sont généralement inférieures à 10 mg/L. L'enlèvement de la DCO se situe entre 90% et 98%, correspondant à une concentration de DCO dans le perméat d'environ 40 mg/L. L'efficacité d'enlèvement de la DCO des BRM est supérieure aux procédés de boues activées conventionnels qui est généralement de 75% à 85% (Stephenson et al., 2000). Ceci peut s'expliquer par la rétention complète des solides accomplie par les BRM ainsi que par la minimisation des pertes de boues à l'effluent (Côté et al., 1997).

Dans un BRM, les microorganismes spécialisés à croissance lente, tels que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, se trouvent dans des conditions propices à leur

développement, car les membranes retiennent complètement les solides. Les BRM permettent d'accomplir une nitrification complète (Trouve et al., 1994; Chiemchaisri et al., 1992). L'âge de boues permettant une telle performance varie entre 5 et 72 jours, avec des taux de chargement compris entre 0,05 et 0,66 kg DBO m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> (Stephenson et al., 2000). D'après (Xiao-Jun et al., 1996), l'efficacité d'enlèvement de l'azote ammoniacal est passé de 94 à 99% en augmentant le TRB de 5 à 10 jours.

L'enlèvement complet de l'azote est possible avec les BRM, mais une zone anoxie est nécessaire. Ceci est possible grâce à deux configurations : l'inclusion d'une zone anoxie séparée (Côté et al., 1997) ou une aération intermittente du bioréacteur (Chiemchaisri et al., 1992). La figure 2.6 présente un schéma d'un BRM avec inclusion d'une zone anoxie séparée.



**Figure 2.6 Schéma d'un BRM avec inclusion d'une zone anoxie séparée (adapté de Côté et al., 1997)**

Avec une configuration de BRM avec aération intermittente, l'efficacité de la dénitrification est reliée à la durée du cycle d'aération et de non aération. De plus, la nitrification dans un BRM avec aération intermittente est dépendante de la



concentration en oxygène dissous de la liqueur mixte durant la phase d'aération (Chiemchaisri et al., 1992). Des études ont démontré que dans une telle configuration, les taux spécifiques de dénitrification (TSDN) variaient de 0,6 à 1,8 mg/(g MVES·h), alors que les taux spécifiques de dénitrification endogène étaient environ de 0,56 mg/(g MVES·h) (Yeom et al., 1999). Il a été noté qu'un taux de chargement minimal d'environ 0,44 g DBO/L est requis pour que la dénitrification commence (Suwa et al., 1992). Une relation linéaire a été observée entre le TSDN et le rapport DBO/N<sub>tot</sub>. Une source de carbone supplémentaire peut être nécessaire si le rapport DBO/N<sub>tot</sub> est faible. Avec une configuration de bioréacteur à membranes incluant une zone anoxie séparée, un taux d'enlèvement de l'azote de plus de 80% a été observé en établissant un taux de recirculation de la liqueur mixte (débit de recirculation/débit d'affluent) supérieur à 3:1 entre la zone anoxie et aérobie (Rosenberger et al., 2002 ; Sofia et al., 2004).

Bien qu'étant difficile à accomplir en raison de l'âge élevé de boues, un enlèvement biologique du phosphore de près de 15 mg/L a été observé dans un procédé comprenant une alternance de zones anaérobies, anoxies, aérobies et un BRM (Adam et al., 2002). Avec un bioréacteur à membranes incluant une zone anoxie séparée, un taux d'enlèvement du phosphore de 15% a été observé dû à la synthèse de la biomasse pour une concentration de phosphore de 9,2 mg/L à l'affluent (Côté et al., 1997). Par contre, la déphosphatation chimique peut facilement être effectuée dans un BRM en ajoutant une co-précipitation avec des sels de fer ou d'aluminium dans la zone aérobie. Cette méthode de coagulation permet d'atteindre une efficacité d'enlèvement du phosphore supérieure à 80% avec des rapports molaires de 1:1 Al ou Fe :P (Stephenson et al., 2000). Le tableau 2.7 compare les performances de différentes configurations de BRM.

**Tableau 2.7 Comparaison des performances de BRM**

Type de traitements	Efficacité d'enlèvement (%) et concentration du perméat (mg/L)						
	MES	DBO	DCO	NTK	Ntot	Ptot	Colif. totaux
BRM (Côté et al., 1997)	>99% ND	>97% <5 mg/L	96% 16 mg/L	81% 8 mg/L	36% 27 mg/L	ND	6,4 log 20 UFC/100mL
BRM + zone anoxie (Côté et al., 1997)	>99% ND	>98% <5 mg/L	98% 10 mg/L	96% 2 mg/L	80% 11 mg/L	15% 8 mg/L	6,1 log 43 UFC/100mL
BRM + zone anoxie (Rosenberger et al, 2002)	>99% ND	ND	95% 35 mg/L	ND	82% 13 mg/L	PO <sub>4</sub> -P : 40% 8 mg/L	ND
BRM + zone anoxie + co-précipitation (Al ou Fe) (Buisson et al., 1998)	>99% ND	>98% <5 mg/L	98% 35 mg/L	96% 2 mg/L	80% 11 mg/L	>80% 1 mg/L	6,2 log ND
BRM + aération intermittente (Ujang et al., 2002)	>99% ND	ND	98% 16 mg/L	NH <sub>3</sub> -N : 99% 0,04 mg/L	96% 1 mg/L	PO <sub>4</sub> -P : 78% 3 mg/L	ND
BRM + zones anoxies, anaérobie & aérobie (Yoon et al., 2004b)	>99% ND	99% 1,5 mg/L	95% 15 mg/L	ND	72% 9 mg/L	73% 0,6 mg/L	ND
Boues activées conventionnel (Cicek et al., 1999a ; Metcalf & Eddy, 2003)	61% ND	94% ND	92% ND	NH <sub>3</sub> -N : 99%	75% 5 - 8 mg/L	89% ND	ND

ND : non disponible

## CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 3.1 PRÉSENTATION DU CEPP

Le Centre d'excellence en production porcine (CEPP) est une ferme école située à Saint-Anselme, dans la région de Chaudière-Appalaches. Elle est localisée dans le bassin versant de la rivière Boyer, une zone d'agriculture intensive dont le bilan de phosphore se révèle excédentaire (municipalités en surplus de fumier) (MENV, 2004). C'est une entreprise porcine de petite taille, avec un cheptel d'environ 110 truies et des porcelets sevrés à 20 kg. Les porcs sont élevés sur un plancher latté sous lequel est recueilli leurs déjections. La production de lisier brut de cette ferme est d'environ 2 m<sup>3</sup>/jour .



**Figure 3.1** Vue extérieure du CEPP (photo prise par M. André Lavergne)

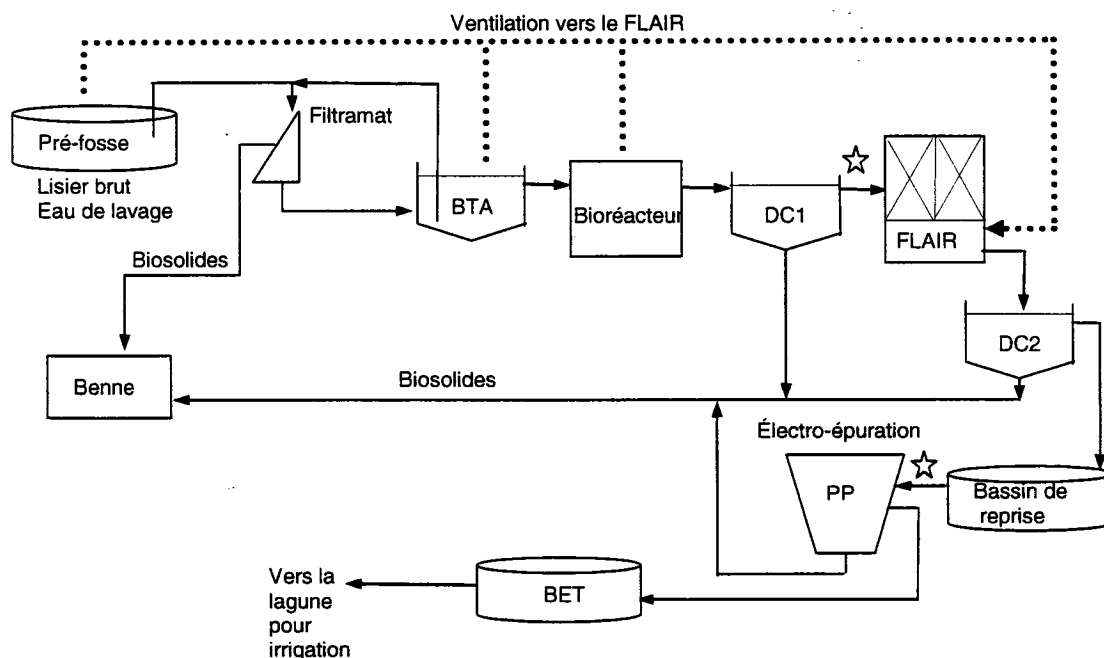
Des mesures strictes de biosécurité sont mises en place au CEPP. Toute personne qui veut y entrer doit au préalable prendre une douche et utiliser les vêtements fournis sur place. Aucun matériel ne peut y pénétrer avant d'avoir été désinfecté par fumigation une journée avant.

### 3.2 FILIÈRE DE TRAITEMENT BIOFERTILE

La compagnie Envirogain a développé un système de traitement complet du lisier de porc, nommé *Solution Biofertile* (Dutil et al., 2002). Cette filière de traitement a été installée en 2001 au CEPP dans le cadre du programme de vitrine technologique du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). La solution Biofertile vise à concentrer les lisiers en biosolides à valeur ajoutée et épurer la partie liquide jusqu'à l'obtention d'une eau conforme aux normes de rejet en milieu naturel. De plus, les odeurs générées dans le bâtiment sont contrôlées.

La solution Biofertile installée au CEPP intègre les technologies suivantes :

- Séparation primaire (FILTRAMAT) : tamis tangentiel séparant une partie importante des solides et du phosphore sans additifs.
- Bassin tampon d'alimentation (BTA) : bassin de régularisation de l'alimentation du bioréacteur. Les solides décantés au fond de ce bassin sont retournés au séparateur primaire (FILTRAMAT).
- Bioréacteur aérobie & anoxie : réacteur biologique séquentiel pour le traitement de la charge organique et de la charge azotée lors de cycles successifs de nitrification-dénitrification. Le bioréacteur est associé à un décanteur (DC1).
- Traitement de l'air et polissage (Flair) : filtre à lit ruisselant pour l'affinage (traitement biologique avancé) de la partie liquide et pour l'épuration de l'air du bâtiment. Le *Flair* est aussi associé à un décanteur (DC2).
- Polissage de l'eau traitée (Polipur; PP) : traitement tertiaire électrochimique éliminant presque complètement le phosphore, les matières en suspension (MES) et les microorganismes résiduels.
- BET : bassin d'eau traitée pour tamponner et contrôler l'évacuation de l'eau traitée.



**Figure 3.2 Schéma du procédé BIOFERTILE utilisé au CEPP :**  
 ☆ points de prélèvement pour l'expérimentation pilote avec BRM

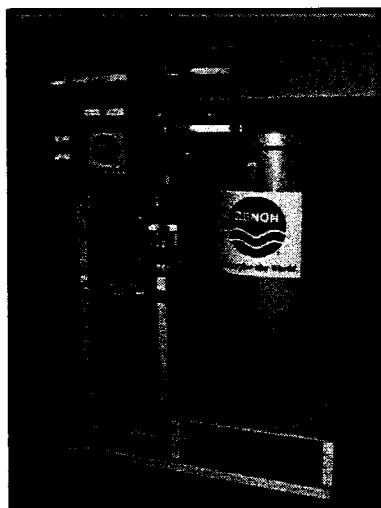
Cette étude porte sur l'intégration d'un bioréacteur à membranes immergées à deux endroits différents dans la filière Biofertile. Durant la première période d'expérimentation, l'alimentation du BRM se faisait à partir du surnageant du décanteur associé au bioréacteur (DC1). Durant la deuxième période d'expérimentation, l'alimentation du BRM se faisait à partir de l'effluent non-décanté du *Polipur*.

### 3.3 BIORÉACTEUR À MEMBRANES IMMERGÉES ZW-10

#### 3.3.1 Description du bioréacteur à membranes immergées ZW-10

Le bioréacteur à membranes immergées ZeeWeed® ZW-10 consiste en une unité de démonstration fabriquée par ZENON Environmental inc. C'est un système compact qui

sert, selon le manufacturier, à obtenir des données préliminaires de performance préalablement à d'autres évaluation ou études pilotes avec des unités membranaires de taille commerciale. Pour le traitement des eaux usées, le système fonctionne selon une configuration appelée ZenoGem<sup>®</sup>. Le système ZW-10 peut aussi être utilisé en mode de filtration directe pour la production d'eau potable (ZENON Environmental Inc., 2003). Le procédé ZenoGem<sup>®</sup> est considéré par le ministère de l'Environnement du Québec comme une technologie de niveau standard dans des applications d'eaux usées d'origine communautaire (MENV, 2000).



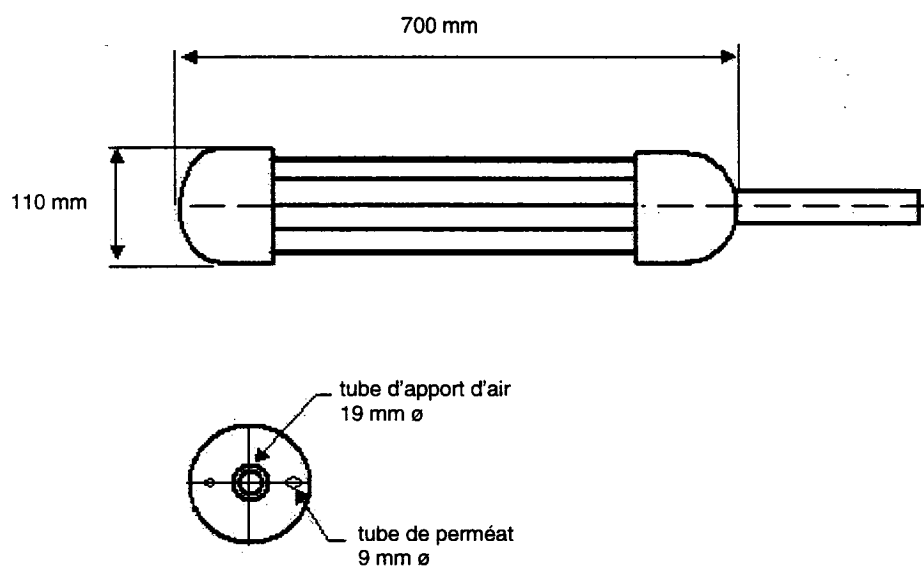
**Figure 3.3 Bioréacteur à membranes immergées ZeeWeed<sup>®</sup> ZW-10 (photo prise par ZENON Environmental inc)**

Le système ZW-10 est monté sur un cadre en acier et ses dimensions sont d'environ 1 m x 0,9 m x 1,8 m de haut. Les principales composantes du système sont la cuve d'aération, la cuve de rétrolavage, la pompe péristaltique pour le soutirage des boues, la pompe rotative pour la perméation, le module membranaire ainsi que le panneau de contrôle. Des éléments ont été ajoutés au système ZW-10 fourni par Zenon, tels qu'une pompe péristaltique pour l'alimentation, des flottes de contrôle du niveau bas et haut dans la cuve d'aération ainsi que divers instruments.

L'affluent est d'abord pompé dans la cuve d'aération contenant les modules membranaires. Ensuite, le perméat est acheminé vers une cuve de rétrolavage par une pompe rotative. À intervalle régulier, cette pompe inverse le sens de l'écoulement pour effectuer un rétrolavage des membranes. Une pompe péristaltique sert soit à pomper le perméat hors de la cuve de rétrolavage ou à effectuer un soutirage des boues de la cuve d'aération. De l'air est diffusé à la base du module membranaire pour fournir l'oxygène requis pour le procédé biologique et pour nettoyer les membranes en provoquant de la turbulence. Les prochaines sections seront consacrées à la description plus détaillée de chacune des composantes.

### **3.3.2 Module membranaire ZW-10**

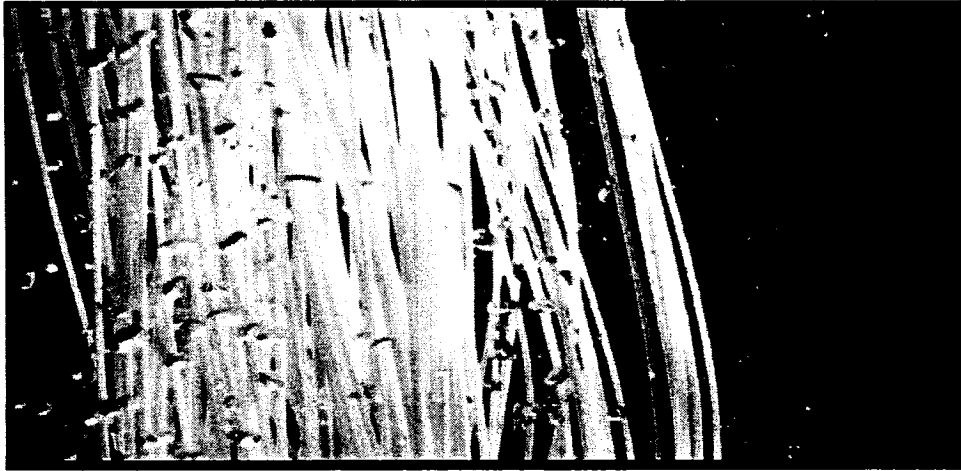
Les membranes à fibres creuses ZeeWeed® (ZW) utilisées sont des membranes d'ultrafiltration ayant une taille nominale de pores de 0,04  $\mu\text{m}$ . La surface extérieure des fibres creuses ZeeWeed® est constituée d'une membrane polymérique (de la famille des PVDF) très perméable à l'eau qui empêche le passage des matières particulaires et colloïdales ainsi que des contaminants biologiques. La perméation s'effectue de l'extérieur vers l'intérieur des fibres creuses sous l'effet d'une faible force de succion (10-50 kPa). Elles sont assemblées dans un module de près de 700 mm de long. Les fibres creuses sont scellées à leurs extrémités par des capuchons inférieur et supérieur. Les fibres creuses sont légèrement plus longues que la distance entre les capuchons, ce qui permet leur mouvement sous l'effet de l'aération. Un tube central sert à acheminer l'air dans le capuchon inférieur où le diffuseur est situé. Ce tube sert aussi à fixer le module verticalement. Le perméat est soutiré à partir du capuchon supérieur.



**Figure 3.4 Schéma du module membranaire ZW-10 (adapté de (ZENON Environmental Inc. 2003))**

Le système ZW-10 fonctionne de façon similaire à un BRM de pleine grandeur utilisant un module membranaire ZW-500. Cependant, les fibres creuses utilisées dans le module ZW-10 sont moins longues et le schéma d'aération est différent. C'est pourquoi les variables de filtration telles que le flux, la pression transmembranaire et les besoins énergétiques ne peuvent être représentatives d'un module à pleine échelle comme le ZW-500. Par contre, la qualité du perméat est représentative d'un module à pleine échelle. Les membranes doivent être constamment immergées, car elles s'endommagent lorsqu'elles sèchent (ZENON Environmental Inc., 2003).





**Figure 3.5 Photo de membranes à fibres creuses ZeeWeed® (ZENON 2004)**

Le tableau 3.1 énumère les caractéristiques des membranes, du module membranaire ainsi que les limites d'utilisation du système ZW-10.

**Tableau 3.1 Caractéristiques du module membranaire ZW-10 (ZENON Environmental Inc., 2003)**

	Caractéristiques	Unité	Valeur
Membranes	Diamètre externe	mm	2
	Type	-	Organique, supporté, non-ionique, hydrophile
	Diamètre nominal des pores	µm	0,04
Module membranaire	Surface membranaire nominale	m <sup>2</sup>	0,93
	Longueur du module	cm	70
	Diamètre du module	cm	10
	Volume de rétention de perméat	L	0,13
Limites d'utilisation	Capacité maximale de la pompe de perméation	L/min	1,5
	Pression transmembranaire (TMP) maximale	kPa	62 kPa@ 40°C
	Pression transmembranaire (TMP) maximale de rétrolavage	kPa	55
	Pression transmembranaire (TMP) typique	kPa	10-50 kPa@ 40°C
	Plage de pH (utilisation)		5-9
	Plage de pH (lavage)		2-10,5
	Exposition maximale à l'OCl <sup>-</sup>	mg/L	1000
	Débit d'air maximal	m <sup>3</sup> /h	3,6

### 3.3.3 Cuves d'aération et de rétrolavage

La cuve d'aération est fabriquée en polyéthylène et elle a un volume total de 254 L. Sa forme est cylindrique. Le module membranaire y est suspendu de façon légèrement

décentrée. Il existe un espace d'environ 100 mm entre la partie inférieure du module et le fond de la cuve. Un diffuseur d'air à grosses bulles est incorporé à la base du module de membranes. Une fois le module membranaire inséré, le volume utile de la cuve est de 227 L.

La cuve de rétrolavage est également fabriquée en polyéthylène et elle a un volume total de 27 L de forme cubique. Le perméat y est pompé et est ensuite acheminé à l'effluent de l'unité piloté. Une petite portion du perméat sert également aux rétrolavages des membranes à intervalle régulier.

### **3.3.4 Pompes**

La pompe de perméation est de type rotative à engrenages (Micropumps<sup>®</sup> Magnetic Drive Gear Pump, Series 120, model 152) actionnée par un moteur (modèle HG-0024). Ce dernier est contrôlé par un potentiomètre digital, permettant d'ajuster le débit fourni par la pompe. Le débit maximal pouvant être fourni par la pompe est d'environ 1,5 L/min. L'écoulement de la pompe peut être inversé très rapidement, ce qui lui permet de servir à la filtration et au rétrolavage. La minuterie sur le panneau de contrôle détermine les temps des cycles de filtration et de rétrolavage.

Une pompe péristaltique est prévue avec le système ZW-10 pour pomper le perméat hors de la cuve de rétrolavage ou pour l'extraction des boues de la cuve d'aération. Cette pompe est actionnée par un moteur à vitesse variable (Masterflex<sup>®</sup> LS Series model #7554-80 economy drive, 7-200 rpm, 90-130 VAC, 37W). La tête de pompe utilisée (Masterflex<sup>®</sup> « Easy-Load » #07518-02) permet d'obtenir des débits variant de 1,7 à 1700 ml/min avec un tube de 7 mm de diamètre intérieur (Tygon<sup>®</sup> L/S 24). Une des caractéristiques propres aux pompes péristaltiques est que le débit fourni varie selon l'usure des tubes. Le débit doit donc être mesuré régulièrement et le tube doit être changé de position ou remplacé au besoin.

Une pompe péristaltique a été ajoutée au système ZW-10 pour servir à l'alimentation du BRM. Cette pompe est actionnée par un moteur à vitesse variable (Masterflex® LS Series model #7520-40 precision drive, 6-600 rpm, 115 VAC, 75W). La tête de pompe utilisée (Masterflex® LS High-Performance #77250-62) permet d'obtenir des débits variant de 0,9 à 1800 ml/min avec un tube de 7 mm de diamètre intérieur (Norpren® L/S 24).

Toutes les pompes utilisées sont de type auto-amorçantes. Ceci permet d'utiliser des cycles de pompage intermittents et contrôlés par des sondes de niveau ou des minuteries.

### **3.3.5 Surpresseur d'air**

Un surpresseur Medo LA-120 est installé pour fournir de l'air à la base du module membranaire. L'air circule à travers un rotamètre et une valve d'ajustement du débit. Le surpresseur d'air peut aussi servir à effectuer un test de vérification de l'intégrité des membranes (test à bulles).

### **3.3.6 Panneau de contrôle**

Un panneau est utilisé pour le contrôle de la pompe de perméation et du surpresseur. La vitesse de la pompe de perméation peut y être ajusté grâce à un potentiomètre digital, de même que la direction de l'écoulement. Un indicateur de temps de fonctionnement y est également installé. Une minuterie programmable (Allen-Bradley® Multifunction Digital Timer & Relay #700-HX86SA17) est utilisée pour contrôler les cycles de filtration et de rétrolavage.

### 3.4 PLAN EXPÉRIMENTAL

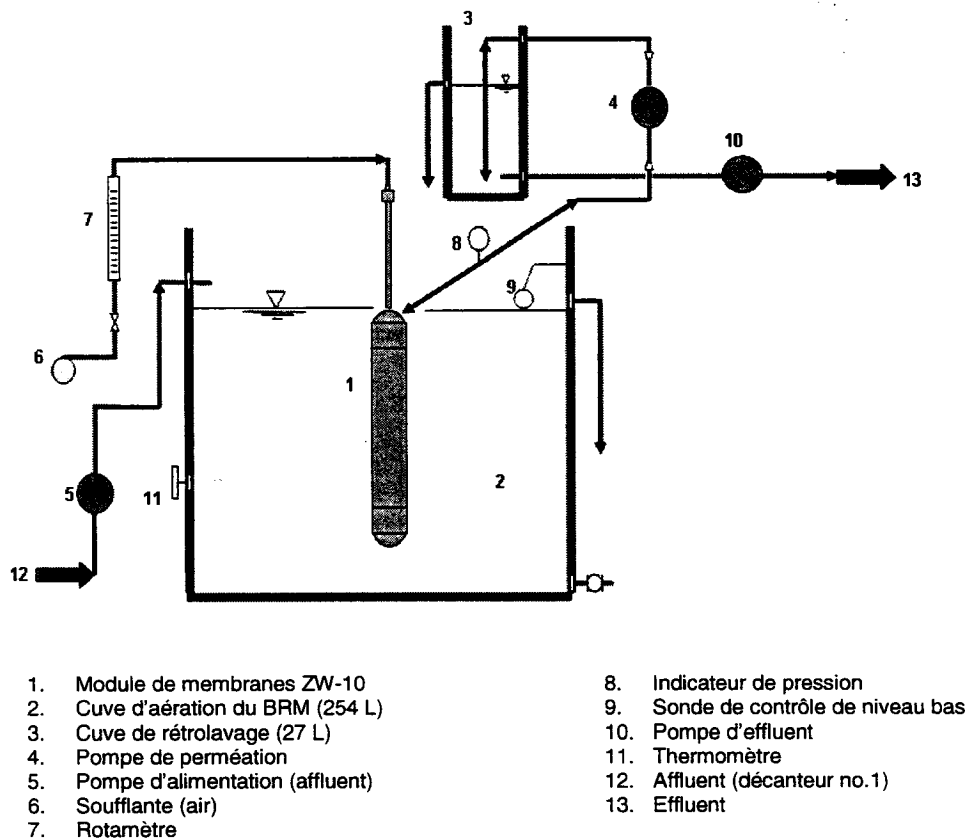
Étant donné que l'objectif principal de cette étude était de confirmer la possibilité d'intégrer un bioréacteur à membranes immergées (BRM) dans la filière de traitement *Solution Biofertile*, l'alimentation du BRM s'est faite à partir de deux endroits : le surnageant du décanteur associé au bioréacteur (DC1) et l'eau traitée par le procédé électrochimique *Polipur* (PP). La figure 3.2 présentée précédemment illustre à quels endroits ont eu lieu les prélèvements pour alimenter le BRM.

#### 3.4.1 Phase DC1-a

Durant la phase préliminaire appelée DC1-a, l'alimentation du BRM s'est faite à partir du surnageant du décanteur associé au bioréacteur (DC1). À cette étape préliminaire, le BRM fut opéré sans modifications majeures à l'unité de démonstration ZW-10 fournie, tel qu'illustré à la figure 3.6. Seule une sonde de contrôle de bas niveau a été ajoutée dans la cuve d'aération pour éviter l'assèchement des membranes. Cette sonde contrôlait l'alimentation électrique de l'ensemble de l'unité de démonstration ZW-10, ce qui arrêta le fonctionnement de tous les appareils sauf celui de la pompe d'alimentation.

Pour éviter que le niveau d'eau fluctue constamment dans la cuve de procédé, le débit d'alimentation avait été fixé à une valeur légèrement supérieure au débit de perméation (ratio  $Q_{in}/Q_{out}$  de 106% en moyenne). En conséquence, une partie non négligeable de la liqueur mixte de la cuve d'aération débordait gravitairement par la conduite de surverse et était envoyée dans le décanteur no.1.

Durant la dernière moitié de cette phase, une extraction de boues programmée par une minuterie a été mise en place. Cependant, celle-ci n'avait que peu d'effet étant donné qu'une fraction importante de la liqueur mixte était perdue à la surverse.

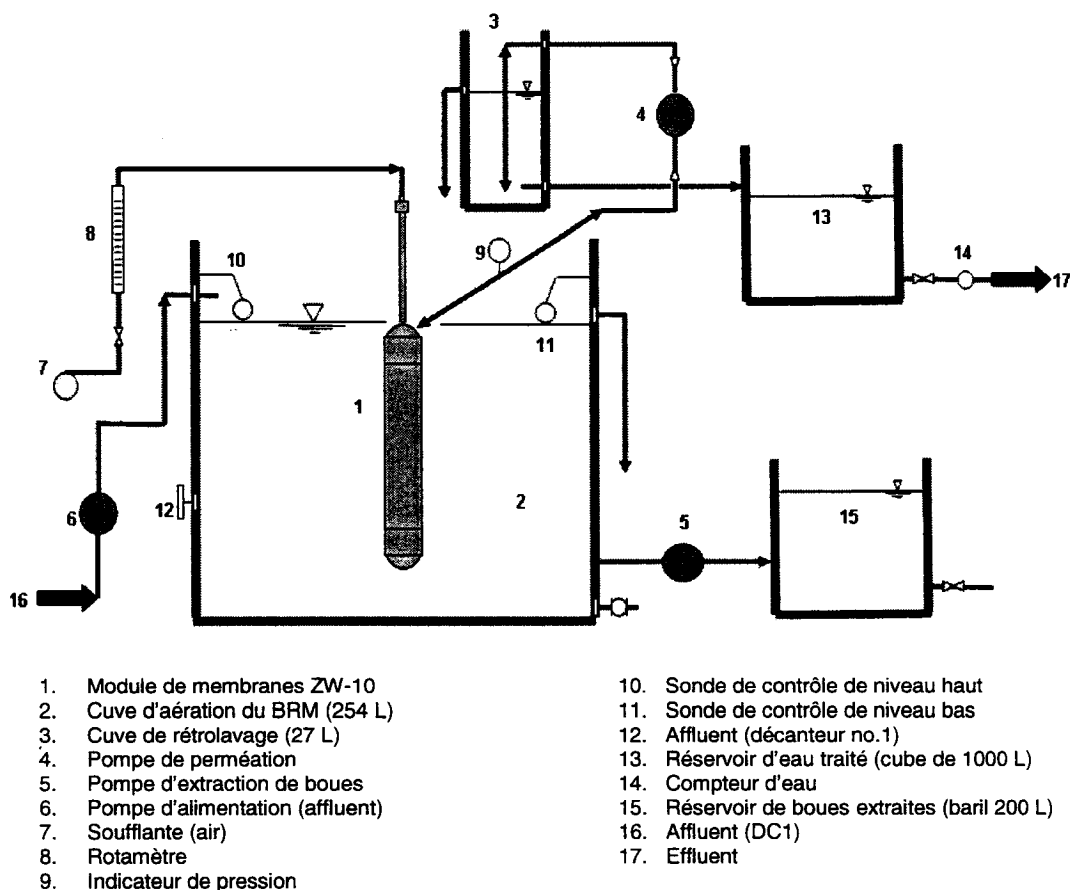


**Figure 3.6 Schéma de l'installation pour la phase DC1-a**

### 3.4.2 Phase DC1-b

Durant la phase suivante appelée DC1-b, des changements ont été apportés aux installations et le BRM a été utilisé selon la configuration illustrée à la figure 3.7. L'alimentation du BRM était encore à cette étape faite à partir du surnageant du décanteur associé au bioréacteur (DC1). Une sonde de contrôle de haut niveau a été ajoutée dans la cuve d'aération pour éviter les pertes de liqueur mixte dans la surverse. Cette sonde contrôlait l'alimentation électrique de la pompe d'affluent. Conjuguée à l'extraction automatisée de boues, cette sonde permettait de garder un temps de rétention des boues (TRB) constant. De plus, un tube gravitaire a été installé pour vidanger l'effluent de la cuve de rétrolavage. Cet effluent est acheminé gravitairement

dans un réservoir de 1000 L. Un compteur d'eau a été installé à la valve de vidange de ce réservoir pour pouvoir calculer les volumes filtrés.

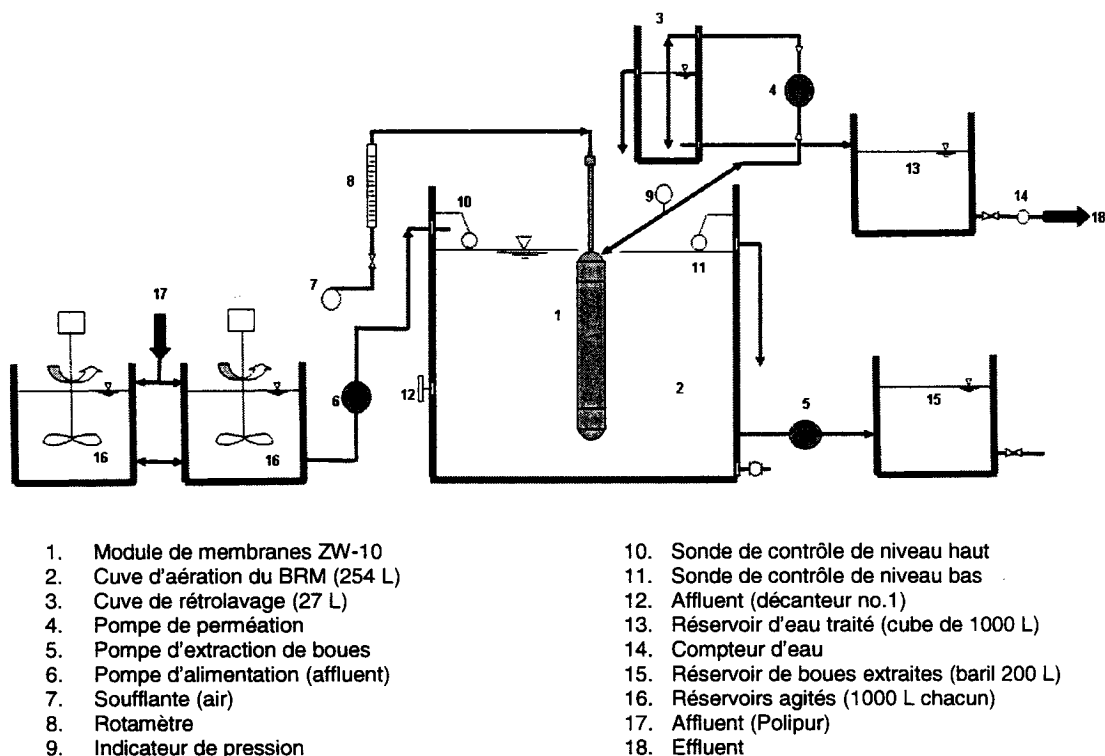


**Figure 3.7 Schéma de l'installation pour la phase DC1-b**

### 3.4.3 Phase PP

Durant la dernière phase appelée PP, des changements supplémentaires ont été apportés aux installations et le BRM a été utilisé selon la configuration illustrée à la figure 3.8. Deux réservoirs de 1000 L de capacité ont été ajoutés pour recevoir l'effluent du *Polipur*. Ce procédé électrochimique fonctionnant à cette époque en mode cuvée à tous les 3 jours environ, il était nécessaire d'avoir des réservoirs de capacité suffisante pour conserver assez de liquide pour opérer le BRM en continu. Ces deux réservoirs étaient

agités mécaniquement avec des pales. Une conduite reliait le haut et le bas des réservoirs pour maintenir un mélange le plus homogène possible.



**Figure 3.8 Schéma de l'installation pour la phase PP**

### 3.5 CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Les variables indépendantes testées et les variables contrôlées dans cette étape furent les mêmes que dans l'étape en laboratoire réalisée par Bastien Renault. Les conditions expérimentales testées sont présentées dans le tableau 3.2.



**Tableau 3.2 Conditions expérimentales pour l'étude pilote**

Paramètre	Unité	Phase DC1-a (préliminaire)	Phase DC1-b	Phase PP
Temps de rétention hydraulique (TRH)	h	9	9	9
Temps de rétention des boues (TRB)	jours (d)	non-défini	10	10
Liquide à traiter	-	surnageant DC1	surnageant DC1	effluent <i>Polipur</i>
Temps de filtration / temps de rétrolavage	min.	9 / 1	4.5 / 0.5	4.5 / 0.5
Aération	m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> ·h)	3,66	3,66	3,66
T°C moyenne milieu réactionnel	°C	25	24	16
Durée de la phase	jours (d)	65 jours (jours 15 à 80)	59 jours (jours 81 à 140)	40 jours (jours 141 à 181)

### 3.5.1 Variables contrôlées

Le type d'effluent à traiter a été la première variable de contrôle étudiée. Le BRM fut intégré dans la filière Solution Biofertilisante du CEPP selon deux scénarios en utilisant les recommandations faites par l'étudiant à la maîtrise Bastien Renault lors de l'étude en laboratoire. Le premier scénario a consisté à traiter l'effluent décanté du bioréacteur à boues activées (décanteur numéro un). Le second scénario consistait à traiter l'effluent du procédé électrochimique *Polipur*.

Le TRH fut la deuxième variable de contrôle. C'est la variation du débit de perméation et de la pression transmembranaire qui a permis de gérer le TRH. Les TRH initialement prévus étaient de 6 heures et de 12 heures. Lors de l'étude pilote, il ne fut pas possible d'utiliser un TRH de 6 heures en raison des capacités limitées de la pompe d'alimentation. Un TRH de 9 heures fut donc utilisé. Ceci correspond aux

recommandations de Bastien Renault faites lors de l'étude en laboratoire pour limiter le taux d'encrassement des membranes. Les débits traités furent donc d'environ 400 L/d.

En ce qui concerne le temps de rétention des boues (TRB), il fut non contrôlé à l'étape *DCI-a* alors qu'il fut de 10 jours par la suite. Le taux d'aération à la base des membranes fut appliqué selon les recommandations du fabricant Zenon. La pression transmembranaire a été contrôlée pour obtenir des valeurs recommandées par le fabricant. La fréquence des rétrolavages (inversion de la pompe de perméation) était contrôlée automatiquement par une minuterie et un lavage chimique avec solution de NaOCl fut utilisé lorsque requis.

### **3.5.2 Variables mesurées**

Les variables suivies ont été les mêmes que celles de l'étape en laboratoire, soit : pH, DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, MVES, NTK-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, Pt, o-PO<sub>4</sub> et coliformes fécaux. Les critères d'évaluation sont basés sur la rencontre des normes de rejets imposées par le ministère de l'Environnement du Québec pour une ferme de production porcine.

### **3.5.3 Nettoyages chimiques**

Lorsqu'une augmentation importante de la pression transmembranaire (TMP) ou un taux d'encrassement plus élevé étaient notés sur une période de plus de deux semaines, un lavage chimique des membranes était effectué. Un bac en plastique de 70 L était utilisé pour faire tremper le module membranaire. La liqueur mixte de la cuve d'aération du BRM n'avait donc pas besoin d'être vidangée. Le gâteau fixé à la surface des membranes était enlevé grossièrement avec les mains et avec un faible jet d'eau. Le manufacturier recommande comme protocole général de faire tremper les membranes dans une solution de 200 ppm d'hypochlorite de sodium (NaOCl) pendant un minimum de 5 heures. Si un encrassement de matières inorganiques semble persister après ce nettoyage, un rinçage en profondeur est recommandé ainsi qu'un trempage additionnel

dans une solution d'acide chlorhydrique (HCl) de pH 2,0 pendant un minimum de 5 heures (ZENON Environmental Inc. 2003).

Un nettoyage chimique dans une solution de 200 ppm d'hypochlorite de sodium (NaOCl) pendant 5 heures a été effectué aux jours 36 et 54. Un trempage additionnel dans une solution d'acide chlorhydrique (HCl) (pH 4,0) a été fait aux jours 41 et 54 pendant un minimum de 5 heures. Suite à des discussions téléphoniques avec le fabricant des membranes, les nettoyages subséquents (jours 72, 97, 114 et 161) ont été faits dans une solution de 1000 ppm d'hypochlorite de sodium (NaOCl) pendant 2 heures. Le fabricant de membrane a également recommandé à ce moment d'utiliser de l'acide citrique au lieu de l'acide chlorhydrique (HCl). Un nettoyage dans une solution d'acide citrique (pH 4,0) a été réalisé au jour 72 pendant 4 heures.

### 3.6 ANALYSES

#### 3.6.1 Échantillonnage

Les informations suivantes étaient recueillies à chaque visite au CEPP durant la phase DC1-a:

- Débits d'affluent, de filtration, de rétrolavage et d'effluent
- Débit d'air
- Pressions transmembranaires (filtration et rétrolavages)
- Température
- Temps du cycle de filtration (production, rétrolavages)
- Réglages des vitesses de la pompe de perméation (potentiomètre digital)
- Indicateur de temps de fonctionnement du BRM

Pour les étapes subséquentes DC1-b et PP, ces informations étaient recueillies quotidiennement par l'exploitant du CEPP, M. André Lavergne. Également, le volume d'eau filtrée pouvait être mesuré quotidiennement grâce au compteur d'eau installé sur

le réservoir d'eau traitée (1000 L). Pour ce faire, la valve de vidange du réservoir était ouverte une fois par jour et la lecture cumulative du compteur était prise en note. De plus, le volume d'affluent pouvait aussi être mesuré quotidiennement durant ces étapes. Un indicateur de temps de fonctionnement de la pompe d'affluent combiné à une mesure du débit permettait d'obtenir un débit moyen d'alimentation du BRM. Ces mesures étaient requises pour réaliser les bilans de masses.

Les échantillons d'affluent étaient prélevés à la sortie du tube d'alimentation de la cuve d'aération, les échantillons de liqueur mixte étaient pris directement dans la cuve d'aération alors que les échantillons de perméat étaient recueillis en débranchant le tube de perméation fixé à la cuve de rétrolavage. Les échantillons de boues étaient prélevés dans le baril où elles étaient extraites. Un brassage vigoureux des boues contenues dans ce baril était effectué à l'aide d'un aviron de canot préalablement à la prise de l'échantillon.

À chacun de ces points, un échantillon était prélevé dans une bouteille de 1 L remplie au trois quarts. Lorsque requis pour l'analyse, certains échantillons étaient filtrés sur place et conservés dans des tubes de plastique. La température et le pH étaient mesurés immédiatement à l'aide d'un pH-mètre électronique *Oakton® Heavy-Duty waterproof pHTestr 3+*. Les autres analyses étaient effectuées à l'École Polytechnique de Montréal. Le tableau 3.3 présente les analyses effectuées et les conditions de conservation des échantillons.

**Tableau 3.3 Analyses et conservation des échantillons**

<b>Analyses</b>	<b>Méthode de préservation des échantillons</b>
DCO	Réfrigérés*
DBO <sub>5</sub>	Réfrigérés*
MES, MVES	Réfrigérés*
Azote Kjeldahl total	Réfrigérés*
Ammoniaque	Filtrés et acidifiés avec H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sur place, réfrigérés
Nitrates	Filtrés sur place, réfrigérés
Phosphore total	Réfrigérés*
Orthophosphates	Filtrés sur place, réfrigérés
Métaux (Fe, Ca, Mg)	Réfrigérés*
Coliformes fécaux	Réfrigérés (acheminés au laboratoire externe en moins de 3 heures)
Alcalinité	Réfrigérés*
Conductivité	Réfrigérés*

\*Note : ces échantillons étaient congelés si un délai de plus de 24 heures étaient prévu entre le prélèvement et l'analyse.

Lors du transport, les échantillons étaient conservés dans une glacière électrique. Ensuite, ils étaient placés au réfrigérateur en attendant leur analyse au laboratoire dans les 24 heures suivantes. Si un délai de plus de 24 heures était prévu entre le prélèvement de l'échantillon et son analyse au laboratoire, les échantillons marqués d'un astérisque dans le tableau 3.3 étaient conservés au congélateur.

### **3.6.2 Méthodes analytiques**

Les analyses ont été effectuées conformément aux méthodes standards (APHA et al., 1998). Les analyses ont été réalisées aux laboratoires de l'École Polytechnique de Montréal. Seules les analyses de coliformes fécaux (affluent et effluent) ont été

confiées à un laboratoire externe (Bodycote essais de matériaux Canada Inc., situé à Ste-Foy). Le tableau 3.4 présente les méthodes analytiques utilisées.

**Tableau 3.4 Méthodes analytiques**

Analyses	Méthode (APHA et al., 1998)	
	Identification	Nom
DCO	5220-D	<i>Closed reflux, colorimetric method</i>
DBO <sub>5</sub>	5210-B	<i>5-day bod test</i>
MES	2540-D	<i>Total suspended solids dried at 103-105°C</i>
MVES	2540-E	<i>Fixed and volatile solids ignited at 550°C</i>
Azote Kjeldahl total	4500-N <sub>org</sub> -B	<i>Macro-Kjedahl method</i>
Ammoniaque	4500-NH <sub>3</sub> -G	<i>Automated phenate method</i>
Nitrates	4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -F	<i>Automated cadmium reduction method</i>
Phosphore total	4500-P-F **	<i>Automated ascorbic acid reduction method</i>
Orthophosphates	4500-P-F	<i>Automated ascorbic acid reduction method</i>
Métaux (Fe, Ca, Mg)	3111-B *	<i>Direct air-acetylene flame method</i>
Coliformes fécaux	9222-D	<i>Fecal coliform membrane filter procedure***</i>
Alcalinité	2320-B	<i>Alkalinity, titration method</i>
Conductivité	2510-B	<i>Conductivity laboratory method</i>

\* par absorption atomique

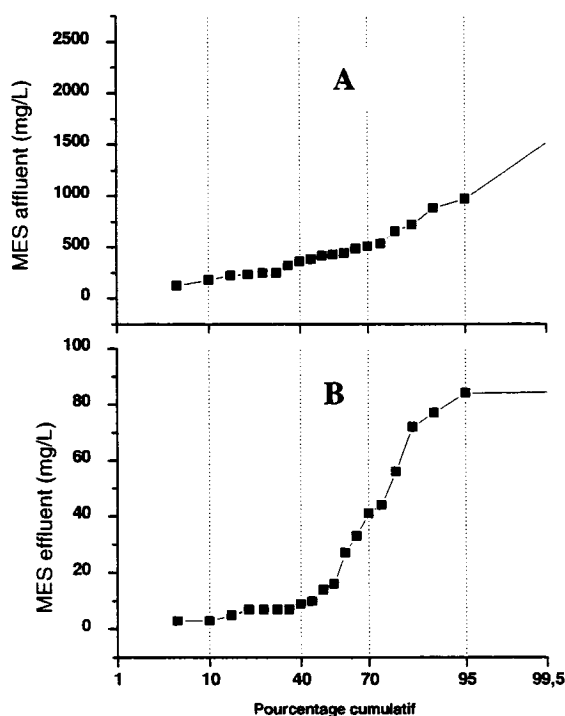
\*\* digestion acide (EPA, procédure 596, 1999)

\*\*\* analyses faites en laboratoires externes

## CHAPITRE 4 : RÉSULTATS

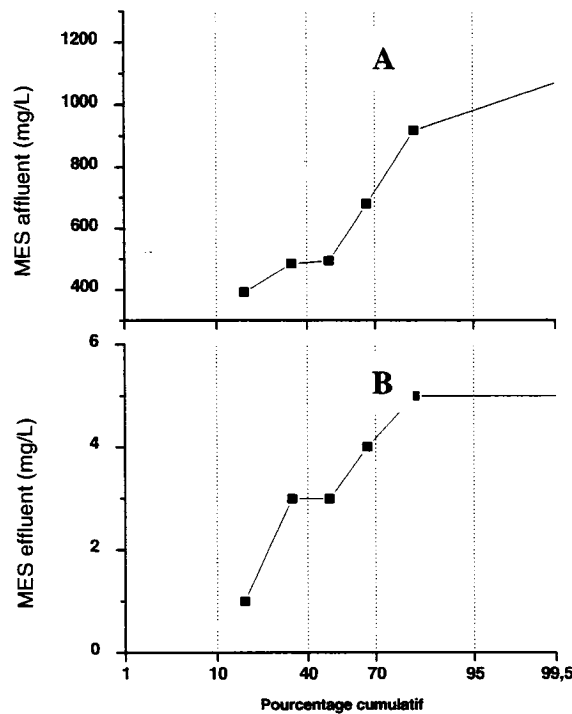
### 4.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

La qualité de l'affluent du BRM a connu une grande variabilité tout au long de l'expérimentation. La figure 4.1 présente les courbes de distribution de fréquences des MES pour les phases DC1-a et DC1-b. Les courbes de distribution de fréquences sont utilisées pour déterminer le nombre d'observations qui se situent au-dessus (ou au-dessous) d'une valeur particulière dans un ensemble de données. Durant ces périodes, les MES mesurées à l'affluent du BRM étaient inférieures à 416 mg/L dans 50% des cas alors que les MES mesurées à l'effluent du BRM étaient inférieures à 14 mg/L dans 50% des cas.



**Figure 4.1** Courbes de distribution de fréquences des MES pour les phases DC1-a & DC1-b ; A) à l'affluent et B) à l'effluent

La figure 4.2 présente quant à elle les courbes de distribution de fréquences des MES pour la phase PP. Durant ces périodes, les MES mesurées à l'affluent du BRM étaient inférieures à 495 mg/L dans 50% des cas alors que les MES mesurées à l'effluent du BRM étaient inférieures à 3 mg/L dans 50% des cas.



**Figure 4.2 Courbes de distribution de fréquences des MES pour la phase PP ; A) à l'affluent et B) à l'effluent**

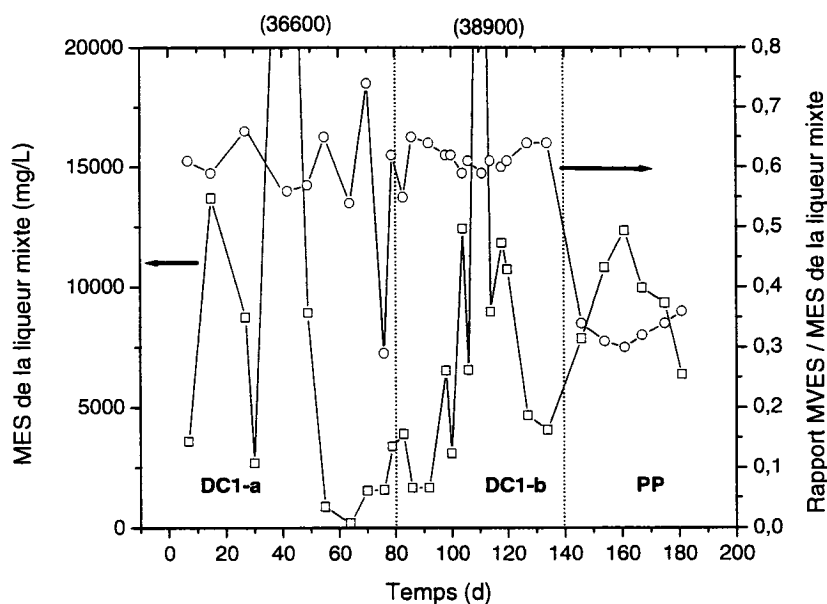
Lors de l'analyse statistique des résultats, certaines valeurs aberrantes ont été enlevées pour préserver la signification de la moyenne. Ces valeurs correspondaient dans la majorité des cas à une fréquence cumulative inférieure à 10% ou supérieure à 90%.

L'évolution de la concentration de la liqueur mixte et des matières volatiles en suspension dans le réacteur est présentée à la figure 4.3. À deux reprises, la concentration en MES de la liqueur mixte du BRM a atteint près de 40 000 mg/L suite à des fortes charges en provenance du décanteur no.1 qui était complètement rempli de



boues. Le jour 42, du lisier brut avait été envoyé dans le décanteur no.1 et le BRM a traité cet affluent pendant 12 heures. Le deuxième évènement est survenu le jour 111 où un mauvais fonctionnement temporaire du bioréacteur de la filière Biofertile a empli complètement le décanteur no.1 de boues

La concentration en MES de la liqueur mixte du BRM se situait en moyenne entre 6 000 et 10 000 mg/L, tel que recommandé par le manufacturier de membranes. Le rapport MVES/MES de la liqueur mixte du BRM s'est stabilisé à environ 0,60 durant la phase DC1-b et à environ 0,35 durant la phase PP.



**Figure 4.3 Évolution de la concentration de liqueur mixte et des matières volatiles en suspension dans le réacteur**

L'évolution de la concentration en DCO pour l'affluent et l'effluent du BRM est illustrée à la figure 4.4. La figure 4.5 présente quant à elle les variations de taux de chargement de DCO ainsi que les variation du rapport F/M. L'intervalle de temps de ce graphique correspond à la période où des bilans de masse ont été réalisés. La période

allant des jours 100 à 120 a été caractérisée par une très forte charge à l'affluent du BRM. La période suivante, le taux de chargement a varié entre 1 et 2  $\text{g DCO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  et le rapport F/M a varié entre 0,1 et 0,3  $\text{kg DCO} \cdot \text{kg}^{-1} \text{MLSS} \cdot \text{d}^{-1}$ . Cette période a été caractérisée par un changement d'affluent (PP).

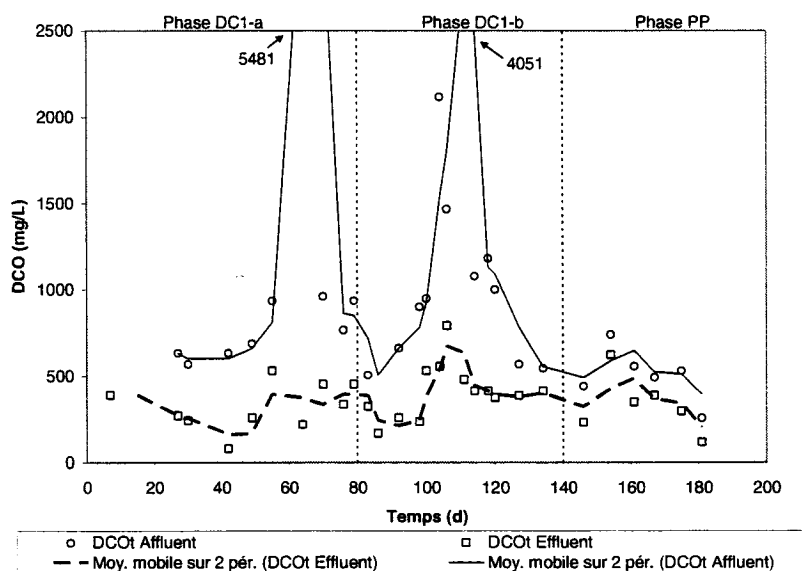


Figure 4.4 DCO à l'affluent et l'effluent

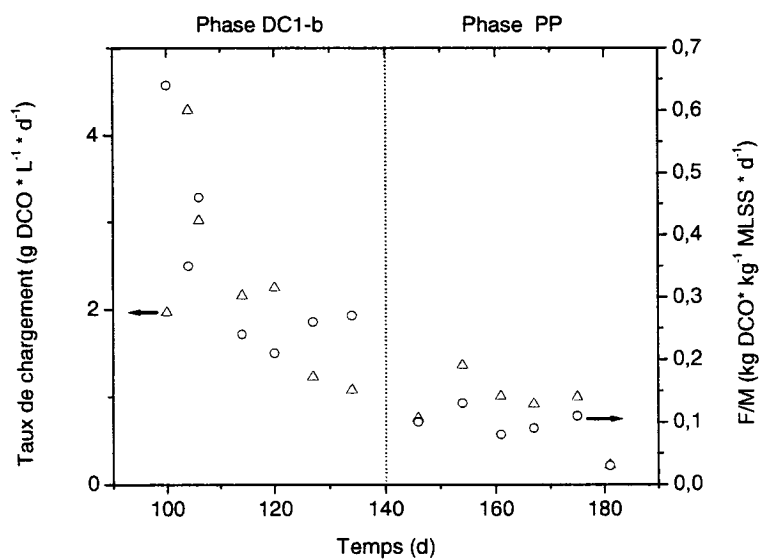
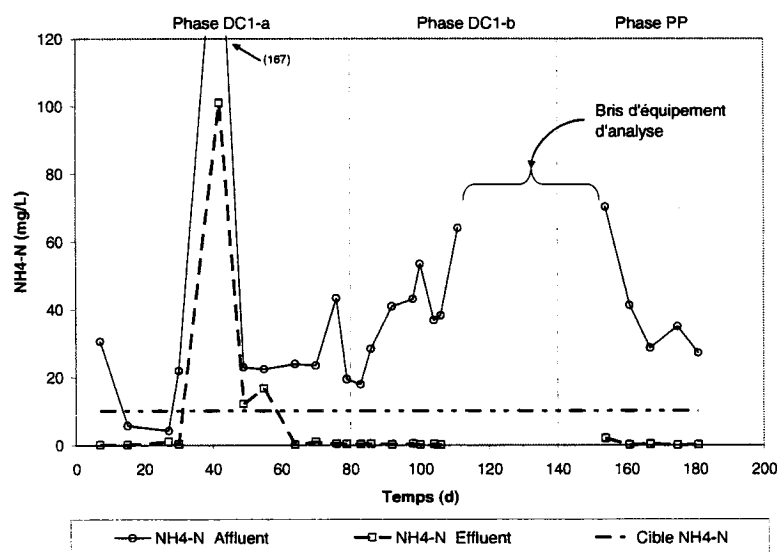
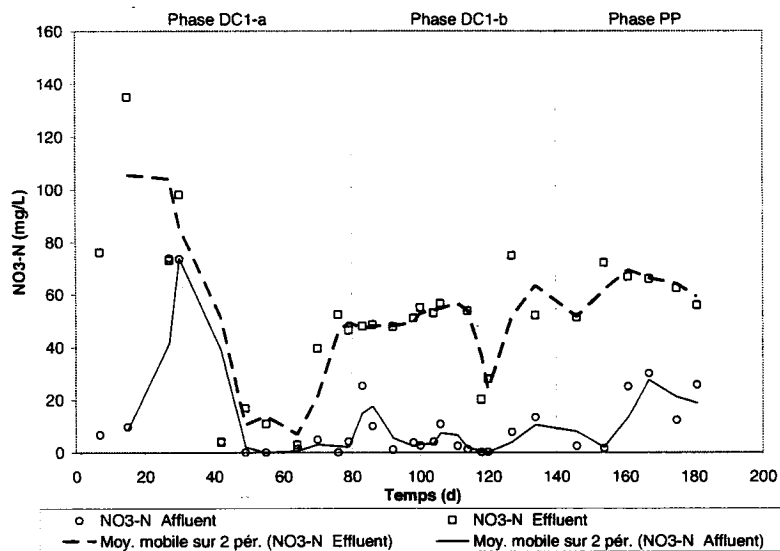


Figure 4.5 Taux de chargement de DCO et rapport F/M

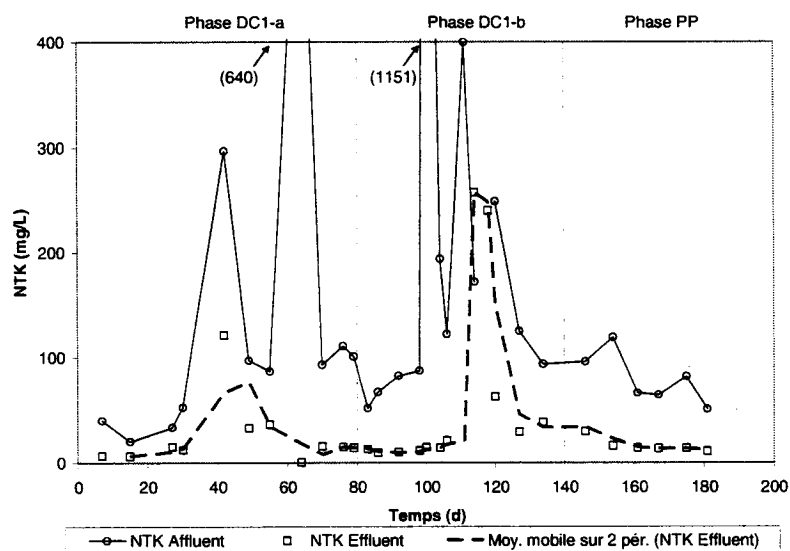
Les variations des concentrations en ammoniacque à l'affluent et l'effluent du BRM sont illustrées à la figure 4.6. Durant la phase DC1-a, l'âge de boues n'était pas constant, car aucun contrôle n'était effectué pour le niveau haut dans la cuve de procédé du BRM et une quantité importante de liqueur mixte était perdue à la surverse. Cette période a été caractérisée par un enlèvement de l'ammoniacque ne rencontrant pas toujours la cible de 10 mg/L. Par contre, l'enlèvement de l'ammoniacque a été complet durant les périodes subséquentes et cette cible a été atteinte. Un bris d'équipement d'analyse de l'ammoniacque est survenu le jour 114 au laboratoire et cette analyse n'a pu être effectuée avant le jour 154. La figure 4.7 présente quant à elle les variations de concentrations de nitrates. La nitrification a été plus importante dans les phases DC1-b et PP suite à l'ajout d'une flotte de contrôle de haut niveau dans la cuve de procédé du BRM. Cette flotte a permis d'éviter les débordements de liqueur mixte à la surverse. Les concentrations d'azote Kjeldahl total à l'affluent et à l'effluent du BRM sont illustrées à la figure 4.8.



**Figure 4.6 Ammoniacque à l'affluent et l'effluent**



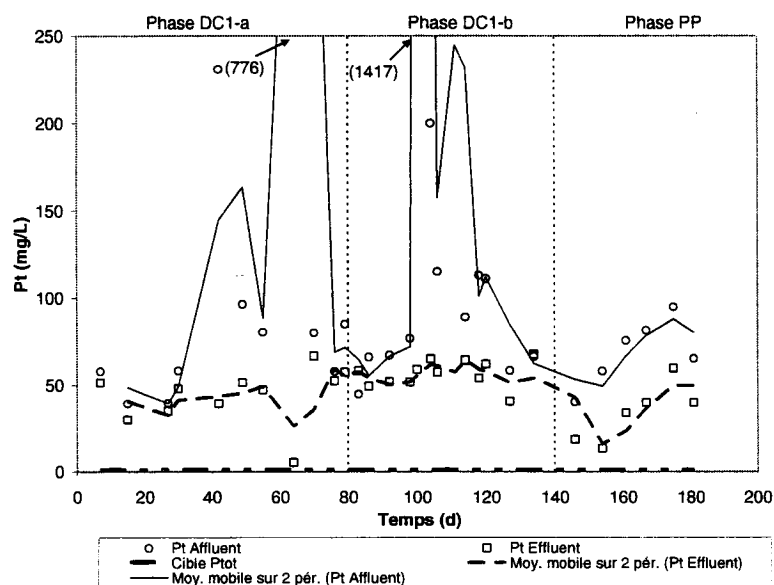
**Figure 4.7 Nitrates à l'affluent et l'effluent**



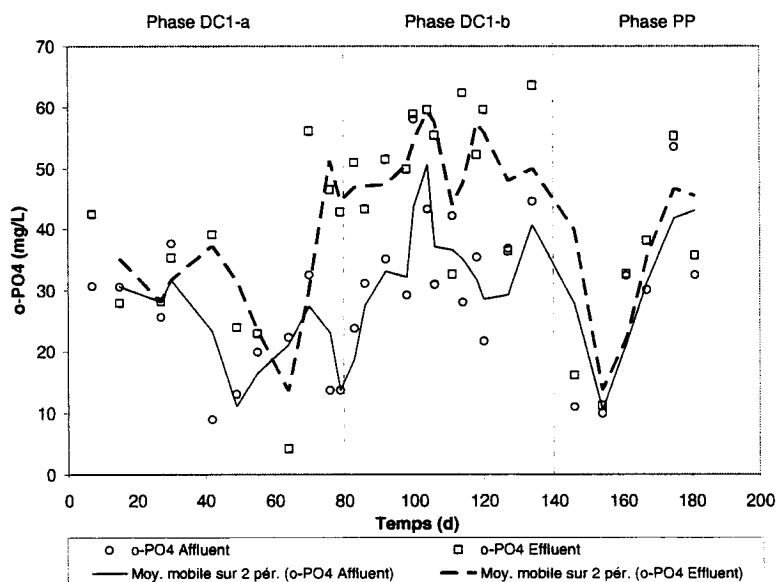
**Figure 4.8 Azote Kjeldahl total à l'affluent et l'effluent**

La variation des concentrations en phosphore total est illustrée à la figure 4.9 pour l'affluent et l'effluent du BRM. Tout au long de l'expérimentation, la cible de 1  $\text{mg/L}$  de phosphore total n'a pu être atteinte. La figure 4.10 présente l'évolution des

concentrations en phosphates. On peut y remarquer qu'il y a une plus forte concentration de phosphates à l'effluent qu'à l'affluent du BRM. La production d'orthophosphates a été plus faible durant la phase PP où le BRM traitait l'effluent du procédé d'électrocoagulation *Polipur*.

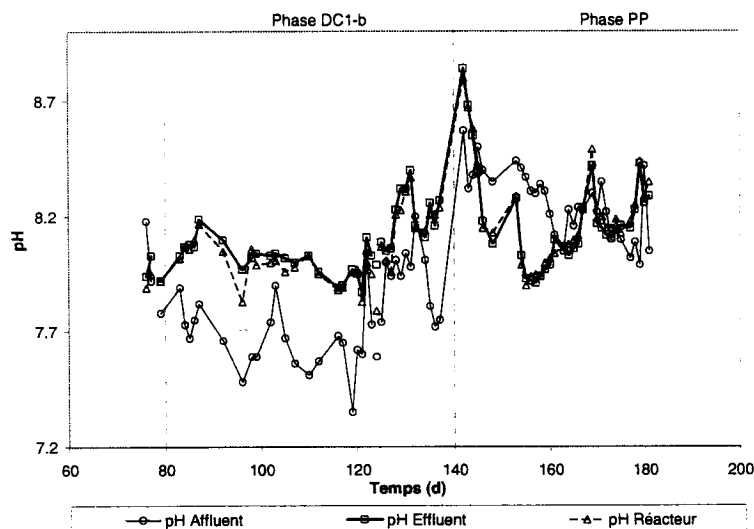


**Figure 4.9 Phosphore total à l'affluent et l'effluent**



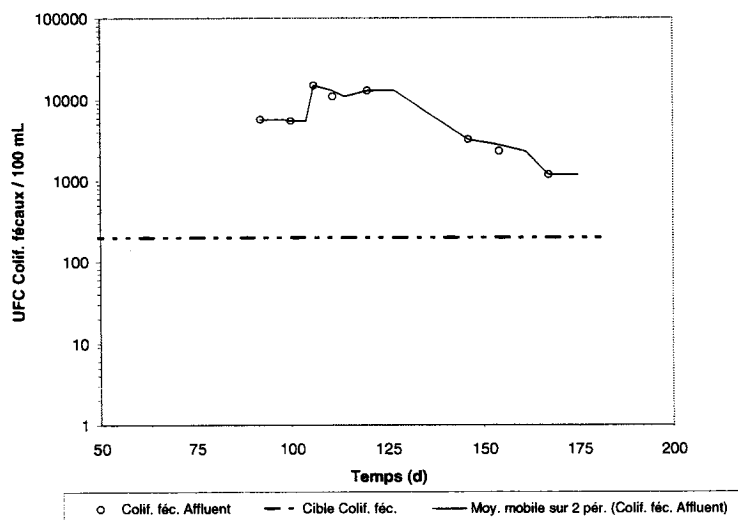
**Figure 4.10 Phosphates à l'affluent et l'effluent**

Comme on peut le voir à la figure 4.11, le pH à l'affluent et à l'effluent du BRM a varié entre 7,5 et 8,7. Durant la phase DC1-b, le pH à l'effluent était plus élevé qu'à l'affluent alors que ce fut l'inverse durant la phase PP.



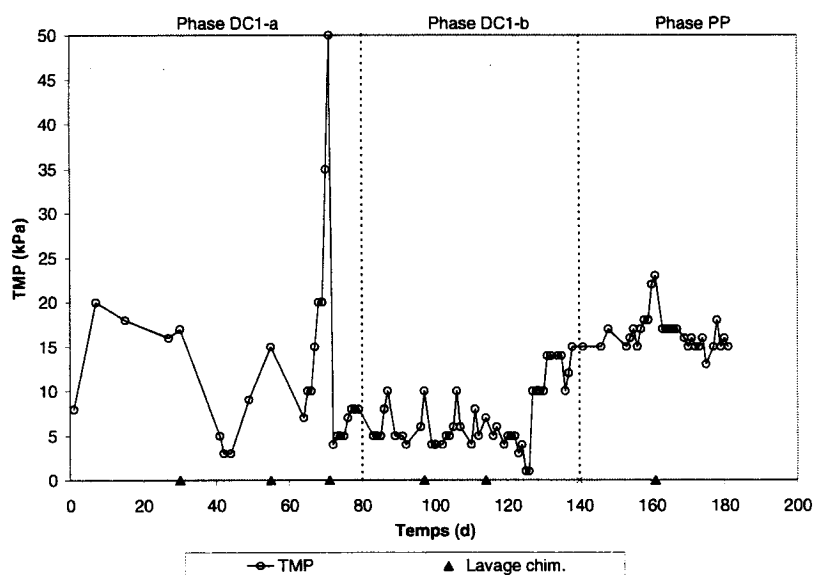
**Figure 4.11** pH à l'affluent et l'effluent

L'évolution des coliformes fécaux à l'affluent du BRM est présenté à la figure 4.12. L'enlèvement des coliformes fécaux a été complet (inférieur à la limite de détection de 2 UFC/100 mL) et la cible de 200 UFC/100 mL a été atteinte.



**Figure 4.12** Coliformes fécaux à l'affluent

La variation de la pression transmembranaire (TMP) ainsi que les jours où des lavages chimiques du module de membranes ont été faits sont représentés à la figure 4.13. La pression a rapidement augmenté dès le début jusqu'à 20 kPa, pour ensuite descendre à 5 kPa après avoir effectué un lavage chimique. La TMP maximale de 50 kPa a été atteinte suite à deux épisodes de très fortes charges où le décanteur no.1 était plein de boues et le BRM continuait de fonctionner. La TMP s'est ensuite stabilisée entre 5 et 10 kPa durant la phase DC1-b. À partir de cette période, un cycle de rétrolavage plus fréquent a permis de mieux contrôler le colmatage des membranes. La phase PP, où le BRM a été jumelé au procédé électrochimique *Polipur*, a été caractérisé par une TMP plus élevée, soit une variation entre 13 et 20 kPa.



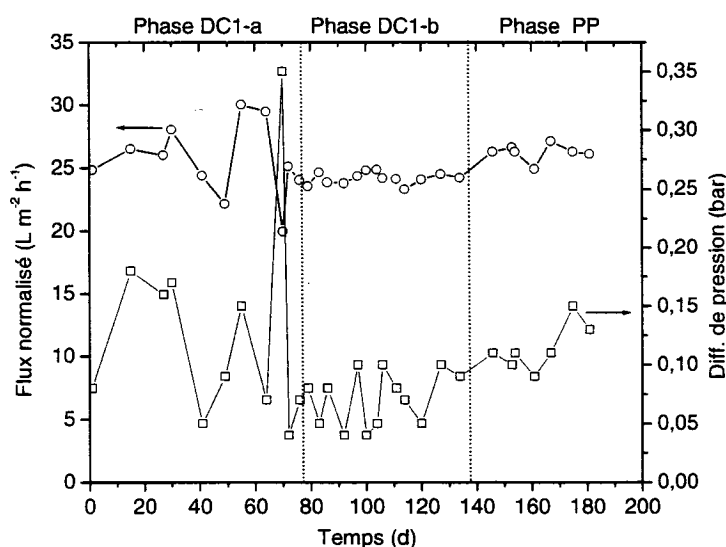
**Figure 4.13 Évolution de la pression transmembranaire**

Le flux est le taux de transfert volumique à travers la surface de la membrane. Le flux mesuré  $F_w$  a été normalisé à 20°C à l'aide de la formule suivante (Decarolis et al., 2001):

$$F_{w20} = \frac{F_w}{2,72^{0,019(T-20)}} \quad (1)$$

où  $F_w$  : flux mesuré ( $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )  
 $T$  : température ( $^{\circ}\text{C}$ )

La figure 4.14 montre conjointement la variation du flux et de la TMP. Une valeur stable de flux d'environ  $24 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  a pu être atteinte durant la phase DC1-b (jours 80 à 140). Des valeurs plus élevées de flux (en moyenne  $27 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) et de TMP ont été notées pendant la phase PP.



**Figure 4.14 Flux et différence de pression durant les différentes phases**

La perméabilité  $K_w$  (ou flux spécifique) est le rapport entre le flux normalisé et la TMP. La perméabilité a été calculée avec la formule suivante (Decarolis et al., 2001):

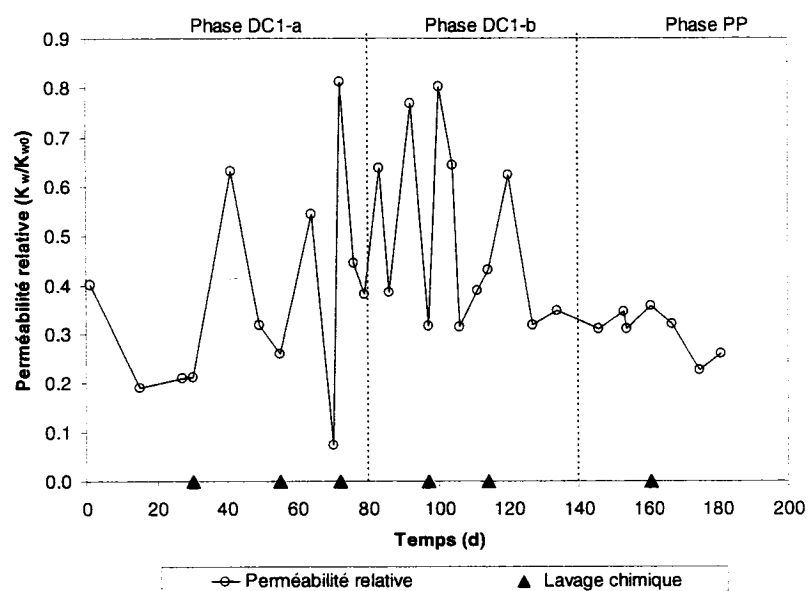
$$K_w = \frac{F_{w20}}{\Delta P} \quad (2)$$

où  $F_{w20}$  : flux normalisé mesuré ( $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )  
 $\Delta P$  : gradient de pression, TMP (bar)

La perméabilité relative  $K_w/K_{w0}$  est définie comme étant le rapport entre la perméabilité mesurée et la perméabilité initiale à l'eau claire (Côté et al., 1998). Elle sert à évaluer le colmatage de la membrane relativement à la performance initiale de



celle-ci. La figure 4.15 présente l'évolution de la perméabilité relative pour les périodes d'expérimentation. La perméabilité relative a varié de 0,30 à 0,80 durant la phase DC1-b. Elle a ensuite diminué lors de la phase PP pour se stabiliser entre 0,20 et 0,35.



**Figure 4.15 Évolution de la perméabilité relative**

Le tableau 4.1 effectue la synthèse des résultats d'analyses et des rendements obtenus lors des différentes phases d'expérimentation. On y retrouve également les cibles du projet ainsi que d'autres normes de rejets appliquées au Québec pour des fins de comparaison.

Le premier point de comparaison est celui du guide du promoteur utilisé pour une demande d'autorisation pour un projet agroalimentaire hors réseau (MENV et al., 2004). Le type d'établissement industriel choisi à titre comparatif est de classe 4, défini comme ayant une DBO<sub>5</sub> brute supérieure à 300 kg/d. Les normes en DBO<sub>5</sub> et MES sont basées sur l'objectif environnemental de rejet (OER) en DBO<sub>5</sub>. Pour un établissement de classe 4 ayant un OER inférieur à 8 mg/L de DBO<sub>5</sub> (le plus sévère), les normes de

rejet moyennes en DBO<sub>5</sub> et MES sont respectivement de 10 mg/L et 15 mg/L. Ceci correspond pour cette classe à une valeur de conception de 5 mg/L en DBO<sub>5</sub>.

Le deuxième point de comparaison est le règlement 87 de la CUM pour les rejets des eaux usées dans les réseaux d'égouts et cours d'eau (Communauté urbaine de Montréal, 2000). Dans ce règlement, les rejets directs au milieu récepteur doivent être traités dans une station d'épuration dont l'effluent respecte les normes de rejet prescrites pour un réseau pluvial.

Le troisième point de comparaison utilisé est celui du règlement Q2.r8 sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolée. À titre comparatif, un système de traitement tertiaire avec déphosphatation et désinfection a été choisi (Gouvernement du Québec, 2005).

Dans le chapitre suivant, une discussion sera faite relativement aux cibles de ce projet et leur interprétation.

**Tableau 4.1 Synthèse des résultats d'analyses et des rendements des différentes phases**

		Phase DC1-a	Phase DC1-b	Phase PP	Cibles du projet	Autres cibles		
		Moyenne (mg/L) ± écart type	Moyenne (mg/L) ± écart type	Moyenne (mg/L) ± écart type	(mg/L)	MENV: projets agroalimentaires hors réseau <sup>c</sup>	Règlement 87, Ville de Montréal <sup>d</sup>	Règlement Q2.r8 <sup>e</sup>
AFFLUENT	DCO <sub>tot</sub>	700 ± 150	1000 ± 450	500 ± 140				
	DCO <sub>f</sub>	390 ± 110	390 ± 160	350 ± 98				
	DBO <sub>5</sub>	N/D ± N/D	130 ± 33	150 ± 79				
	MES	340 ± 170	690 ± 610	700 ± 290				
	MVES	210 ± 120	410 ± 380	220 ± 75				
	NTK-N	79 ± 33	120 ± 59	80 ± 23				
	NH <sub>3</sub> -N	23 ± 14	37 ± 10	40 ± 16				
	NO <sub>3</sub> -N	24 ± 32	7 ± 7	16 ± 11				
	Pt	67 ± 19	92 ± 41	69 ± 17				
	o-PO <sub>4</sub>	22 ± 10	33 ± 7	28 ± 15				
	Coliformes fécaux	N/D ± N/D	10000 ± 3800	2200 ± 820				
EFFLUENT	DCO <sub>tot</sub>	300 ± 110	410 ± 160	340 ± 160				
	DBO <sub>5</sub>	N/D ± N/D	30 ± 6	25 ± 3	5	10	30	15
	MES <sup>a</sup>	< 30 <sup>b</sup> ± 34	< 29 <sup>b</sup> ± 28	4 ± 1	5	20	30	15
	MVES	5 ± 7	7 ± 8	1 ± 1				
	NTK-N	27 ± 32	22 ± 16	16 ± 6				
	NH <sub>3</sub> -N	14 ± 28	0 ± 0	0 ± 1	10			
	NO <sub>3</sub> -N	44 ± 42	49 ± 13	62 ± 7				
	Pt	40 ± 19	57 ± 7	34 ± 15	1		1	1
	o-PO <sub>4</sub>	30 ± 16	52 ± 9	32 ± 15				
	Coliformes fécaux	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	200		400	200
RENDEMENT	DCO <sub>tot</sub>	59%	59%	33%				
	DBO <sub>5</sub>	N/D	77%	84%				
	MES	> 91% <sup>b</sup>	> 96% <sup>b</sup>	99%				
	MVES	98%	98%	100%				
	NTK-N	66%	82%	80%				
	NH <sub>3</sub> -N	41%	99%	99%				
	Pt	40%	38%	51%				
	Coliformes fécaux	N/D	100%	100%				

<sup>a</sup> Note: Les MES des phases DC1-a & DC1-b ont été mesurées sur des échantillons ayant été congelés.

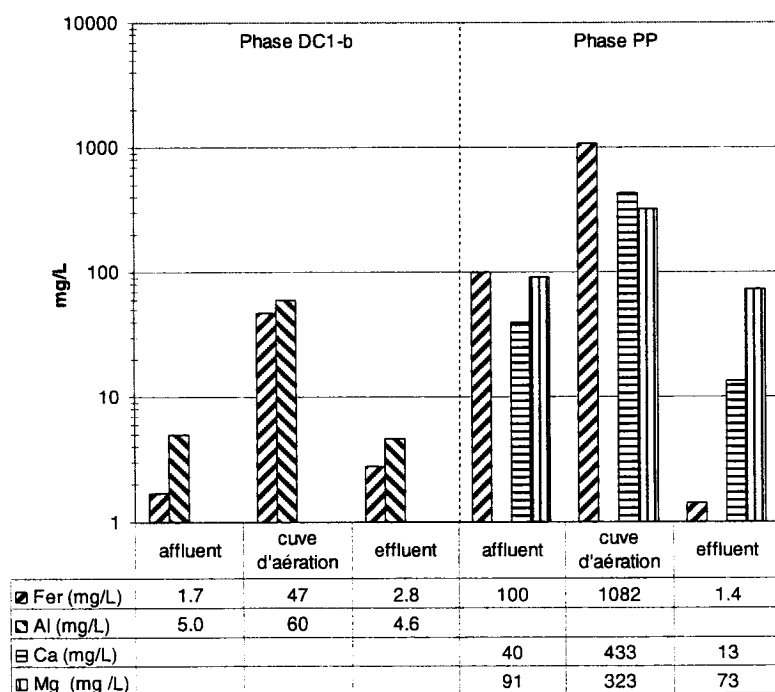
<sup>b</sup> Note: Une coagulation des solides dissous a eu lieu lors de la congélation des échantillons, augmentant la valeur de MES mesurée.

<sup>c</sup> Note: Demande d'autorisation pour un projet agroalimentaire hors réseau, classe 4, OER de DBO<sub>5</sub> < 8 mg/L et MLT DBO<sub>5</sub> = 5 mg/L (MENV et al., 2004)

<sup>d</sup> Note: Règlement 87-4, Rejets des eaux usées dans les réseaux d'égouts et cours d'eau (Communauté urbaine de Montréal, 2000)

<sup>e</sup> Note: Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (Gouvernement du Québec, 2005)

Les concentrations de minéraux à l'affluent, dans la cuve et à l'effluent du BRM sont représentés à la figure 4.16. Lors de la phase DC1-b, des analyses de fer et d'aluminium ont été effectuées, car ces deux types de plaques métalliques ont été utilisées dans le procédé électrochimique *Polipur*. Durant la phase PP, l'analyse de l'aluminium n'a plus été faite, car les plaques d'aluminium ont été remplacées par des plaques de fer. Pour les deux phases, les concentrations de minéraux sont plus élevées dans la cuve d'aération que dans l'affluent du BRM. Il y a eu une accumulation de fer dans la cuve d'aération d'un facteur d'environ 25 pour la phase DC1-b comparativement à l'affluent et d'un facteur d'environ 10 pour la phase PP. Par contre, les concentrations de fer dans la cuve d'aération de cette dernière phase étaient beaucoup plus élevées, avec une moyenne d'environ 1000 mg/L comparativement à 50 mg/L pour la phase DC1-b.



**Figure 4.16 Concentrations de minéraux**

## 4.2 VALIDATION DES RÉSULTATS

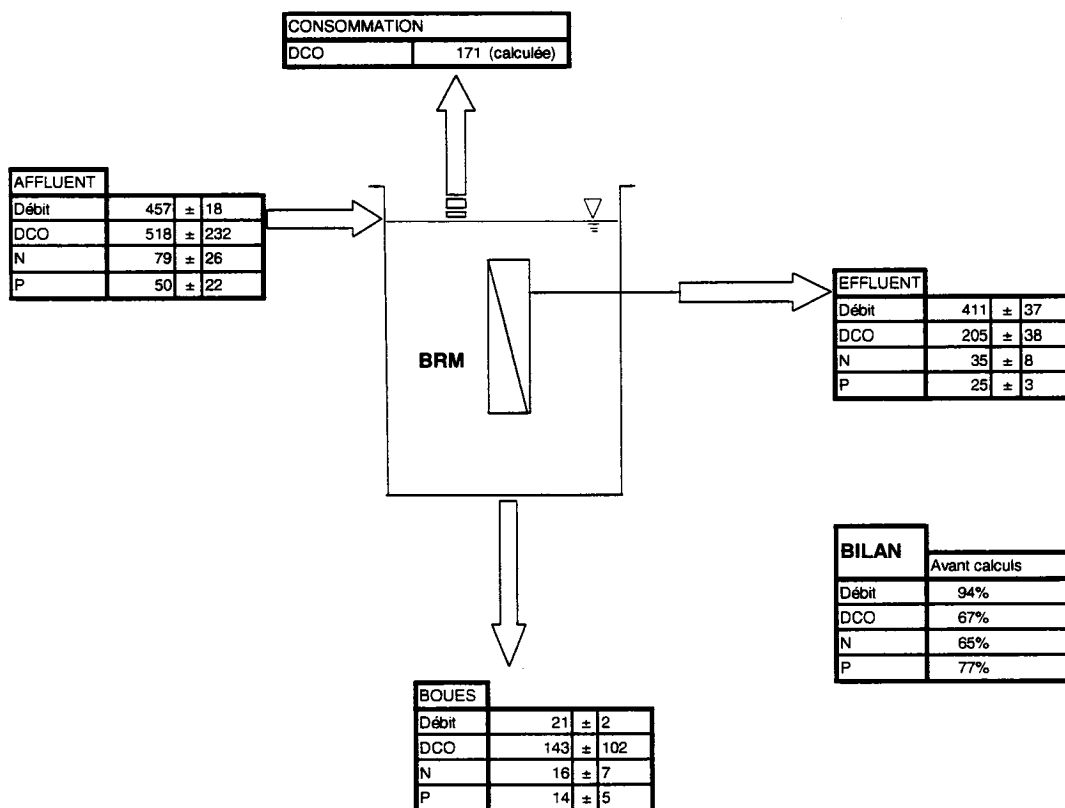
### 4.2.1 MES et mode de préservation des échantillons

Les résultats des analyses de MES à l'effluent du BRM sont élevés. La moyenne des valeurs mesurées sont de 30 et 29 mg/L pour les phases DC1-a et DC1-b, alors que la moyenne est de 4 mg/L pour la phase PP. La cible du projet, de 5 mg/L, n'a été atteinte que dans la phase PP. Durant cette dernière phase, l'efficacité d'enlèvement des MES a été de 99%, alors qu'elle était de 91% et 96% respectivement durant les phases DC1-a et DC1-b. Les BRM sont reconnus pour leur enlèvement de MES supérieur à 99% (Stephenson et al., 2000). La concentration de MES typiquement atteinte à l'effluent avec ce type de membranes est égale ou inférieure à 2 mg/L (ZENON, 2004), (Côté et al., 2000), (Adham et al., 2001).

Les valeurs élevées de MES mesurées à l'effluent du BRM pour les phases DC1-a et DC1-b peuvent s'expliquer par le fait que les échantillons utilisés pour ces analyses étaient congelés durant ces périodes. L'effet du gel-dégel est bien connu pour améliorer la déshydratation des boues d'usines de traitement d'eaux usées (Metcalf & Eddy, 2003). Lors de la congélation, la fraction d'eau libre gèle et les particules sont poussées par un front de glace en formation. Avec l'expansion de l'eau glacée, les particules sont compactées, coagulées et davantage d'eau en est extraite par diffusion. Lors du dégel, il n'y aura pas de dissolution de ces particules (McMinn et al., 2003). Des petits résidus granuleux, sous forme de cristaux, ont souvent été observés après la décongélation des échantillons d'effluent alors que leur présence n'avait jamais été noté avant la congélation. La valeur moyenne de MES à l'effluent, qui était près de sept fois plus petite lors de la phase PP, peut en partie être expliquée par le fait que les échantillons n'ont pas été congelés.

#### 4.2.2 Bilans de masse

Des bilans hydrauliques et massiques ont été effectués sur une période allant des jours 100 à 140, soit la deuxième partie de la phase DC1-b et pour l'ensemble de la phase PP. Des bilans massiques de DCO totale, d'azote total et de phosphore total ont été effectués. La consommation de DCO totale dans la cuve d'aération n'a pas été mesurée. C'est pourquoi le bilan de DCO atteint 67% avant calcul et 100% après. Le calcul effectué consiste à attribuer la différence du bilan à la consommation de DCO lors de l'oxydation aérobie. La figure 4.17 présente les bilans de masse pour la phase DC1-b. Le bilan de l'azote inclus le NTK et les  $\text{NO}_3$ , de même que le bilan du phosphore inclus aussi les orthophosphates.

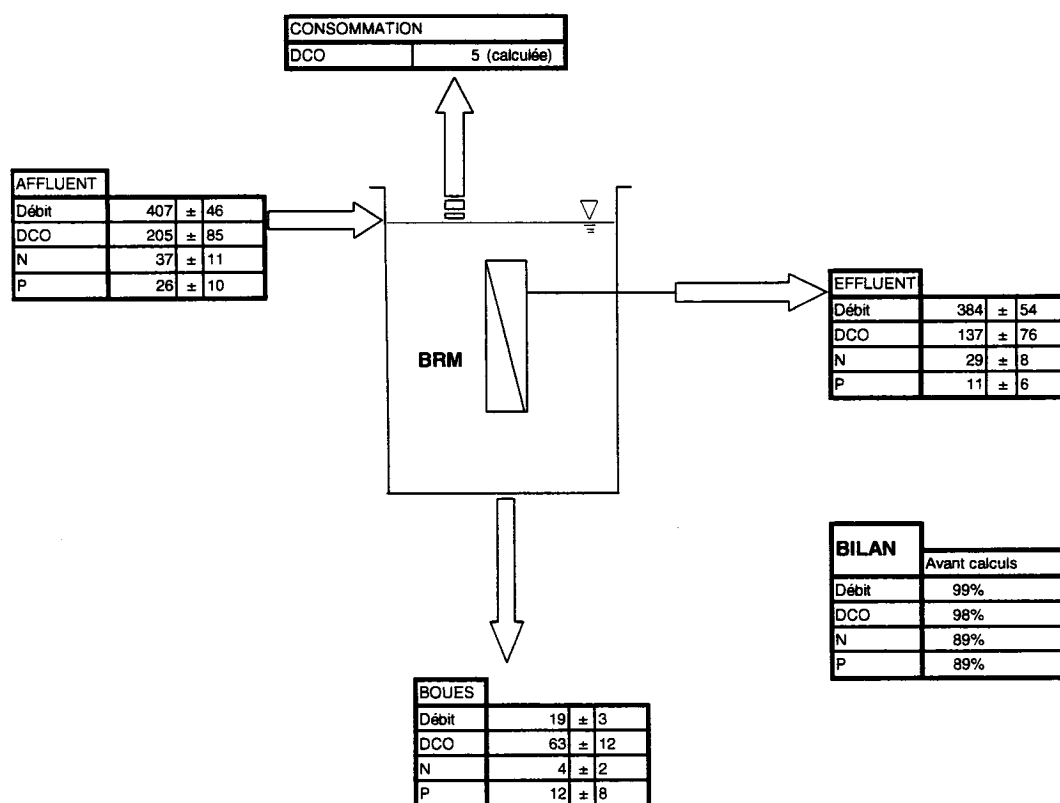


Notes : Les débits sont exprimés en L/d  
 Les charges sont exprimées en g/d  
 La valeur consommation de DCO (g/d) attribuable à l'oxydation aérobie a été calculée

**Figure 4.17 Résultats des bilans massiques de la phase DC1-b**

Durant uniquement les jours 100 à 127 (environ le 2/3 de la phase DC1-b), les échantillons d'affluent étaient composés grâce à une conduite d'échantillonnage automatique. Un tube et une tête de pompe ont été ajoutés à la pompe péristaltique de soutirage de boues. Ce tube, raccordé à la conduite d'affluent, prélevait automatiquement un échantillon à toutes les heures et l'acheminait dans un réservoir en plastique fermé par un couvercle. Un échantillon était pris dans ce réservoir lors de chacune des visites suite à une agitation vigoureuse avec un aviron. Ce réservoir n'était cependant pas réfrigéré entre chaque visite.

La figure 4.18 présente le bilan de masses pour la phase PP. Le bilan de DCO atteignait 98%. Une consommation de seulement 5 g/d de DCO a été calculée pour la phase PP.



Notes : Les débits sont exprimés en L/d  
 Les charges sont exprimées en g/d  
 La valeur consommation de DCO (g/d) attribuable à l'oxydation aérobie a été calculée

**Figure 4.18 Résultats des bilans massiques de la phase PP**

### 4.2.3 Autres mesures de validation

D'autres mesures de validation ont été effectuées lors de la compilation des résultats des analyses de l'affluent et de la liqueur mixte du BRM. Ces mesures se retrouvent à *l'annexe C*, à même les tableaux de résultats détaillées. Le tableau 4.2 présente les mesures de validation et les fonctions de contrôle.

**Tableau 4.2 Mesures de validation et valeurs de contrôle**

Mesures de validation	Fonctions de contrôle
MES, MVES	MES > MVES
DCOt, DCOf	DCOt > DCOf
Pt, o-PO <sub>4</sub>	Pt > o-PO <sub>4</sub>

Le tableau 4.3 présente les résultats de calculs de rapports typiques de liqueur mixte du BRM.

**Tableau 4.3 Moyennes de rapports typiques de liqueur mixte du BRM**

Phases d'expérimentation	<i>iVT</i> <sup>a</sup>	DCOp/MVES <sup>b</sup>	Pp/MVES <sup>c</sup>
DC1-a	0,64 ± 0,06	1,63 ± 1,10	0,13 ± 0,07
DC1-b	0,62 ± 0,08	1,21 ± 0,78	0,14 ± 0,07
PP	0,33 ± 0,02	0,90 ± 0,17	0,23 ± 0,08
Valeurs typiques (Metcalf & Eddy 2003)	0,78	1,42 – 1,48	0,30 g P/ g MVES (PAO <sup>d</sup> ) 0,02 g P/g MVES (autres bactéries)

<sup>a</sup> Note : Rapport matières volatiles en suspension / matières en suspension

<sup>b</sup> Note : Rapport DCO particulaire / matières volatiles en suspension

<sup>c</sup> Note : Rapport phosphore particulaire / matières volatiles en suspension

<sup>d</sup> Note : Microorganismes accumulateurs de phosphore



Le rapport  $iVT$  est donc légèrement inférieur aux valeurs typiques pour les phases DC1-a et DC1-b, alors que ce rapport est très en deçà des valeurs typiques pour la phase PP. Les valeurs moyennes des rapports DCOp/MVES et Pp/MVES ont été inférieures aux valeurs typiques pour les phases DC1-b et PP.

## CHAPITRE 5 : DISCUSSION

Le but de cette étude était de confirmer la possibilité d'intégrer un bioréacteur à membranes immergées (BRM) dans la filière de traitement *Solution Biofertile* pour améliorer la performance et réduire les coûts d'un rejet sécuritaire de l'effluent traité. Pour y arriver, un BRM de taille pilote a été installé au Centre d'excellence en production porcine (CEPP). Le BRM utilisé consistait en une unité de démonstration fabriquée par ZENON Environmental inc. Le module membranaire était de type ZeeWeed® ZW-10 et le volume utile de la cuve d'aération était de 227 L. La discussion qui suit compare en premier lieu les résultats obtenus avec la littérature et aborde ensuite la phase préliminaire, les hypothèses, les performances, l'atteinte des cibles, l'intégration dans une station collective Biofertile ainsi qu'une étude économique.

### 5.1 PHASE PRÉLIMINAIRE

#### 5.1.1 Rappel méthodologique

La phase *DC1-a* a été qualifiée de préliminaire car plusieurs ajustements ont été faits durant cette période et de nouveaux équipements ont été ajoutés. Lors de cette période qui s'est échelonnée des jours 15 à 80, le BRM a traité l'effluent décanté du bioréacteur *Biofertile* de type boues activées. Pendant la phase *DC1-a*, il n'était pas possible d'effectuer des bilans de masse car ce n'est que durant les phases subséquentes qu'ont été installés un débitmètre à l'effluent et un indicateur de temps de fonctionnement de la pompe d'alimentation. Un temps de rétention hydraulique (TRH) constant de 9 heures a été employé durant cette phase ainsi que pour les autres phases de l'expérimentation (voir tableau 3.2).

Tableau 5.1 Comparaison des performances de traitement par BRM et par d'autres procédés

Procédé	Type d'effluent	Références	CONDITIONS D'OPÉRATION				DBO5 (mg/L)			DCO <sub>t</sub> (mg/L)			DCO <sub>f</sub> (mg/L)			Nt (mg/L)			NH <sub>4</sub> -N (mg/L)			P <sub>t</sub> (mg/L)			o-PO <sub>4</sub> (mg/L)		
			TCV: (kg DCO m <sup>-3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	F/M (kg DCO kg <sup>-1</sup> ·MLSS · d <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	NT: (MVESMES) <sup>c</sup>	MLSS (mg/L)	Affluent	Effluent	% Rendement	Affluent	Effluent	% Rendement	Affluent	Effluent	% Rendement	Affluent	Effluent	% Rendement	Affluent	Effluent	% Rendement	Affluent	Effluent	% Rendement	Affluent	Effluent	% Rendement
BRM	DC1-a	Cette étude	---	---	0.65	5800	---	---	---	700	300	57%	390	300	23%	103	71	31%	23	14	39%	67	40	40%	22	30	
	DC1-b	Cette étude	2.3	0.3	0.65	6300	130	30	77%	1000	410	59%	390	390	0%	127	71	44%	37	0	100%	92	57	38%	33	52	
	PP	Cette étude	0.9	0.1	0.30	9500	150	25	83%	500	340	32%	350	340	3%	96	78	19%	40	0	100%	69	34	51%	28	32	
FLAIR	DC1-a	Envirogain, 2004	0.3	---	---	---	---	---	65% <sup>c</sup>	---	---	---	---	---	---	188	110	41%	74	31	58%	93	58	38%	---	---	
POLIPUR	FLAIR	Envirogain, 2004	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	110	85	23%	31	20	35%	58	8	86%	---	---	
BRM	Municipal	Côté et al., 1997	---	---	---	15000	220	5	98%	482	10	98%	---	---	---	---	---	---	39	0.4	98%	9.2	8.1	12%	---	---	
BRM	Municipal	Côté et al., 1998	1.2	---	0.75	20000	---	---	---	460	10	98%	---	---	---	55	11	80%	---	---	---	---	---	---	---	---	
BRM	Municipal	Rosenberger et al., 2002	1.1 - 1.7	0.07	0.75	18000	---	---	---	786	39	95%	---	---	---	66	13	80%	44	0	100%	66	40	39%	12	6	
BRM	Agro-alim.	Haas et al., 2004	---	---	---	50000	---	---	---	90000	20000	78%	---	---	---	---	---	---	3400	200	94%	204	113	45%	180	109	

<sup>a</sup> Note: TCV = taux de chargement volumique<sup>b</sup> Note: Rapport matières volatiles en suspension / matières en suspension<sup>c</sup> Note: Valeur typique pour un lit bactérien et un TCV de 0,26 kg DCO m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup> (Metcalf & Eddy, 2003)

### 5.1.2 Mise au point des conditions expérimentales

Dans la première moitié de la phase *DCI-a*, le temps de rétention des boues n'était pas contrôlé. L'extraction de boues a été mise en fonction au jour 50. Entre ce jour et le jour 90, l'extraction de boues a fonctionné et des débordements de liqueur mixte à la surverse se sont produits, ce qui a eu pour effet de réduire davantage le temps de rétention des boues. C'est pourquoi la concentration en MES de la liqueur mixte du BRM a varié entre 1 000 et 2 000 mg/L durant cette période. Dès qu'un âge de boues constant de 10 jours a pu être atteint grâce à l'ajout d'une flotte de contrôle de niveau haut, la biomasse nitrifiante a pu se développer efficacement. L'enlèvement de l'ammoniaque a été de 99% à partir de ce moment, ce qui correspond au rendement observé par Xiao-Jun et al. (1996) et Côté et al. (1997).

La pression transmembranaire a augmenté plus rapidement durant la phase *DCI-a* que dans les autres phases. Durant cette phase, la durée des rétrolavages a été réduite de moitié (passant de 1 à ½ minutes) alors que la fréquence de ces derniers a été doublée (rétrolavages à tous les 4,5 minutes au lieu de 9 minutes). Cette optimisation de la durée et de la fréquence des rétrolavages du module membranaire a permis de retarder l'augmentation de pression. La perméabilité relative a varié entre 20% et 65% lors de la phase *DCI-a* jusqu'à ce qu'un nouveau protocole de nettoyage chimique soit utilisé à partir du jour 72. Un trempage successif dans une plus forte concentration de NaOCl (1 000 ppm pendant 2 h au lieu de 200 ppm pendant 5 h) et dans l'acide citrique à pH 4 pendant 4 heures a permis de retrouver une valeur de perméabilité relative de 80%. Ceci indique que le colmatage de la membrane était causé par l'accumulation de matières inorganiques. Par la suite, la perméabilité relative a varié entre 30% et 80% en effectuant seulement des nettoyages chimiques au NaOCl.

La concentration en MES de la liqueur mixte du BRM se situait en moyenne entre 6 000 et 10 000 mg/L. Cette plage de valeur était celle recommandée par le

manufacturier de membranes pour le traitement d'une eau à fort potentiel de colmatage. L'affluent du BRM avait en effet tendance à colmater les membranes, car il contenait des concentrations en MES assez élevées (de 350 à 700 mg/L en moyenne selon les phases), une forte alcalinité totale (de 1 000 à 1 300 mg CaCO<sub>3</sub>/L) ainsi que de l'aluminium et du fer (selon les phases) provenant du procédé électrochimique *Polipur*. En plus de la charge en particules, les valeurs élevées de charge organique et de viscosité sont d'autres facteurs contribuant significativement au colmatage des membranes (Decarolis et al., 2001 ; Decarolis et al., 2001 ; Manem et al., 1996).

La concentration en MES de la liqueur mixte du BRM était cependant inférieure aux concentrations utilisées généralement dans les BRM qui varient entre 10 000 mg/L et 20 000 mg/L (Stephenson et al., 2000). Il est même possible de ne faire aucune purge de boues et d'utiliser une concentration en MES de la liqueur mixte allant jusqu'à 50 000 mg/L (Muller et al., 1995). C'est surtout le temps de rétention hydraulique choisi (9 heures) et le temps de rétention des boues (10 jours), qui ont conjointement avec la grande variabilité de la qualité de l'affluent, fait en sorte que la concentration en MES de la liqueur mixte du BRM s'est maintenue à des valeurs faibles.

## 5.2 TRAITEMENT PAR UN BRM DE L'EFFLUENT DÉCANTÉ DU BIORÉACTEUR À BOUES ACTIVÉES

La possibilité qu'un BRM puisse remplacer le *Flair* dans la filière de traitement *Solution Biofertile* pour des fonctions d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> et de nitrification constituait la première hypothèse de ce projet de recherche. Durant la phase *DC1-b*, le BRM fut alimenté à partir de l'effluent décanté du bioréacteur à boues activées (voir figure 3.2). Le TRH et le TRB furent maintenus à des valeurs constantes de 9 heures et 10 jours, respectivement. Une valeur stable de flux d'environ 24 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> a pu être atteinte lors de cette phase à des TMP variant de 5 à 10 kPa. Les flux typiques pour les BRM varient de 5 à 300 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, correspondant à des valeurs de perméabilité de 20 à 200 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·bar<sup>-1</sup> (Stephenson et al., 2000). Spécifiquement pour les modules de

membranes à fibres creuses, les valeurs de flux utilisées par Côté et al. (1997) dans des BRM varient de 25 à 35  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  et elles sont appliquées à des faibles pressions de 20 kPa. Des valeurs de flux variant de 18 à 27  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  appliquées à des pressions de 25 à 50 kPa ont été utilisées dans un BRM à fibres creuses par Rosenberger et al. (2002). Les valeurs de flux utilisées dans la présente étude s'inscrivent donc dans la partie inférieure des intervalles typiques utilisés par des BRM de même configuration.

### 5.2.1 Performances

L'ultrafiltration avec des membranes ayant un diamètre nominal de pores de 0,04  $\mu\text{m}$  constitue un mécanisme de séparation physique permettant l'enlèvement complet des matières en suspension. Ainsi, la DCO particulaire, l'azote particulaire, le phosphore particulaire et les coliformes fécaux ont été complètement éliminés durant la phase *DCI-b*. Cependant, les MES ont été enlevées à seulement 96% durant cette phase probablement en raison d'un phénomène de coagulation qui s'est produit lors de la congélation des échantillons à forte teneur en sels dissous servant à cette analyse (voir section 4.2.1).

La DCO de l'effluent a majoritairement suivi le profil de la DCO à l'affluent, exception faite des deux épisodes de fortes charges en provenance de la filière Biofertile où des valeurs de près de 4 000 et 5 000 mg/L ont été atteintes. La concentration moyenne de DCO totale mesurée à l'effluent pour la période *DCI-b* a été de  $410\pm150$  mg/L, correspondant à un rendement de 59%. La DCO et la DBO à l'affluent du BRM sont des résidus du traitement effectué par le bioréacteur *Biofertile*, donc les parties les plus difficiles à dégrader biologiquement. De plus, le lisier de porc contient une grande quantité de bilirubine et de matières humiques résistantes à la biodégradation (MAPAQ, 2003). Les rendements d'enlèvement de la DCO sont habituellement supérieurs à 90% lorsqu'un long TRB et qu'une forte concentration en MES de la liqueur mixte sont maintenus dans le BRM (Cicek et al., 1999b-). Le taux de chargement volumétrique varie typiquement de 1,2 à 3,2  $\text{kg DCO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  et des

rapports F/M aussi bas que  $0,05\text{--}0,15 \text{ kg DCO}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ MLSS}\cdot\text{d}^{-1}$  sont fréquemment utilisés avec des BRM (Stephenson et al., 2000). Le taux de chargement volumétrique moyen a été de  $2,3 \text{ kg DCO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  pour la période *DC1-b*. Suite au mauvais fonctionnement du bioréacteur *Biofertile*, le rapport F/M a varié de 0,3 à 0,2  $\text{kg DCO}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{MLSS}\cdot\text{d}^{-1}$  durant la phase *DC1-b*. Un rapport de près de  $0,1 \text{ kg DCO}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{MLSS}\cdot\text{d}^{-1}$  a été observé par Yamamoto et al. (1989), Muller et al. (1995) et Rosenberger et al. (2002), ce qui indique que le rapport F/M de la phase *DC1-b* était probablement trop élevé pour permettre l'enlèvement complet de la DBO.

Durant la phase *DC1-b*, l'enlèvement de la  $\text{DBO}_5$  a été de 77% alors que les rendements d'enlèvement se situent habituellement entre 90% à 97% avec les BRM pour des taux de charge volumiques de 0,05 à  $0,66 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  (Stephenson et al., 2000). Le taux de chargement volumiques moyen a été de  $0,26 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  pour les phases *DC1-b* et PP, ce qui est typique des valeurs utilisées par les BRM. Le faible nombre de mesures de  $\text{DBO}_5$  effectuées (3 mesures pour chaque phase) ne permet cependant pas de conclure avec certitude à ce sujet.

En ce qui concerne les matières et nutriments solubles, ils ne peuvent être retenus par une membrane d'ultrafiltration. Certains de ces éléments peuvent être enlevés biologiquement dans un BRM lorsqu'une concentration élevée de biomasse et un rapport F/M faible sont maintenus dans la cuve d'aération. Suite à l'installation d'une sonde de contrôle, il n'y a plus eu de débordement à la surverse de la cuve d'aération du BRM et le rapport MVES/MES de la liqueur mixte du BRM s'est stabilisé à environ 0,65 durant la phase *DC1-b*. Cette valeur est très près de la valeur de 0,70 observée typique en traitement d'eaux usées municipales (Rosenberger et al., 2002). L'enlèvement de l'ammoniaque a été de 99% durant la phase *DC1-b*. En plus de la nitrification, une partie de cet enlèvement peut être aussi attribué à des pertes par dégazage. Un bris d'équipement d'analyse de l'ammoniaque n'a pas permis de mesurer l'ammoniaque pendant 30 jours durant la phase *DC1-b* et pendant 10 jours lors de la

phase *PP*. Les concentrations en nitrates sont cependant restées stables à près de 60 mg N/L durant cette période, ce qui laisse présager que l'enlèvement de l'ammoniaque résiduel était nitrifié de façon complète durant ce temps.

La dénitrification ne faisait pas partie des objectifs de traitement du projet. L'ajout d'une zone anoxie au BRM permet d'enlever jusqu'à 80% de l'azote total (Rosenberger et al., 2002 ; Côté et al., 1997). Des enlèvements de plus de 90% de l'azote total sont possible en utilisant une aération intermittente du BRM (Yeom et al., 1999 ; Chiemchaisri et al., 1992). Le rapport  $\text{DBO}_5 : \text{N}$  de l'affluent du BRM a été d'environ 1 :1 durant l'ensemble de l'expérimentation, alors qu'un rapport  $\text{DBO} : \text{N}$  plus élevé de 4 :1 serait recommandé pour l'enlèvement de l'azote (Dussault, 2005). Une dénitrification complète a été observée par (Yeom et al., 1999) lors d'une expérimentation faite avec un BRM à aération intermittente utilisant un rapport  $\text{DBO} : \text{N}$  de 5 :1 pour l'affluent. Une source additionnelle de carbone serait donc nécessaire pour effectuer la dénitrification de cet affluent avec un BRM. Durant la phase *DCI-b*, le bilan d'azote total ferme seulement à 65%, ce qui laisse croire à première vue que près de 30% aurait pu être dénitrifié dans les floes de boues activées du BRM ou dans les boues extraites. En effet, les boues extraites séjournèrent plusieurs jours dans un baril fermé et sans agitation avant d'être échantillonnées, ce qui est propice à des conditions anoxies. Une certaine quantité d'azote a donc pu être dénitrifiée dans les boues extraites, faussant d'autant le bilan massique pour cet item.

Malgré les fortes pointes de phosphore à l'affluent (jusqu'à 1417 mg/L), la concentration à l'effluent du BRM est demeurée stable à près de 57 mg/L pour la phase *DCI-b*. Cette concentration correspond à un enlèvement de phosphore de 38%. Les enlèvements de phosphore rapportés pour les BRM varient de 12% (Côté et al., 1997) à 40% (Rosenberger et al., 2002) dans des conditions uniquement aérobies et où il n'y a pas de précipitation chimique. Il est possible d'atteindre 75% d'enlèvement de phosphore en utilisant des zones anaérobies (Ueda et al., 1999) et plus de 80% en



ajoutant un coagulant tel que l'alun ou le fer (Buisson et al., 1998). L'enlèvement de 38% de phosphore pour la phase *DCI-b* se situe donc dans la gamme supérieure des performances publiées pour des BRM en conditions uniquement aérobies et où il n'y a pas de précipitation chimique (Rosenberger et al., 2002). Cependant, une augmentation des concentrations d'orthophosphates a eu lieu dans la cuve d'aération lors des trois phases. L'augmentation des concentrations d'orthophosphates a été de 58% pour la phase *DCI-b*. Ce résultat peut être attribué à la dégradation du phosphore particulaire et au bris de particules contenant du phosphore soluble dans la cuve d'aération du BRM en raison de l'âge de boues élevé.

Le tableau 5.2 compare les performances épuratoire du BRM traitant l'effluent décanté du bioréacteur à boues activées (phase *DCI-b*) avec les performances du *Flair*.

**Tableau 5.2 Performances du BRM comparées à celles du *Flair***

Description	Enlèvement par le BRM (phase <i>DCI-b</i> )	Enlèvement par le <i>Flair</i> (Chabot et al., 2004)
DBO <sub>5</sub>	77%	N/D
NH <sub>3</sub> -N	99%	57%
MES	96%	55%
P <sub>tot</sub>	38%	37%

N/D : non-disponible

La valeur du pourcentage d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> par le *Flair* ne fut pas mesuré lors de cette étude. Cependant, le taux de chargement volumiques moyen de 0,26 kg DBO<sub>5</sub> m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> utilisé dans le BRM pour cette phase correspond à une valeur typique de pourcentage d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> d'environ 65% pour lit bactérien (Metcalf & Eddy, 2003). Il est donc permis d'affirmer qu'un BRM pourrait remplacer le *Flair* dans la filière de traitement *Solution Biofertile* pour des fonctions d'enlèvement de la

DBO<sub>5</sub> et de nitrification, tout en assurant la même performance d'enlèvement du phosphore total et une performance supérieure d'enlèvement des MES.

### 5.2.2 Atteinte des cibles

Durant la phase *DC1-b*, les cibles du projet concernant la DBO<sub>5</sub> (5 mg/L), les MES (5 mg/L) et le phosphore (1 mg/L) n'ont pu être rencontrées. Les valeurs de MES mesurées ont été légèrement supérieures à la cible en raison de la coagulation qui s'est produite dans les échantillons congelés pendant cette période. Toutefois, la performance d'enlèvement des MES pour la phase *DC1-b* a été supérieur à ce qui a été mesuré en raison de la coagulation qui a probablement eu lieu dans les échantillons congelés lors de cette phase. L'enlèvement de l'ammoniaque et des coliformes fécaux a été complet pour toutes les analyses effectuées durant les phases *DC1-b*, permettant de rencontrer ces cibles.

## 5.3 TRAITEMENT PAR UN BRM DE L'EFFLUENT NON DÉCANTÉ DU *Polipur*

La seconde hypothèse de ce projet consiste en la possibilité qu'un BRM intégré en aval du *Polipur* puisse constituer une barrière efficace en ce qui concerne les MES, l'ammoniaque et les coliformes fécaux. Durant la phase *PP*, le BRM fut alimenté à partir de l'effluent non décanté du *Polipur* (voir figure 3.2). Le TRH et le TRB furent maintenues à des valeurs constantes de 9 heures et 10 jours respectivement. Une valeur moyenne de flux de  $27 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  a été observée lors de la phase *PP* avec des pressions variant de 10 à 15 kPa. La présence d'un prétraitement de coagulation a comme conséquence d'augmenter le flux de filtration (Choksuchart et al. 2002). De plus, la perméabilité relative s'est maintenue à des valeurs entre 20% et 30%. Ceci est probablement due au colmatage plus important de la membrane avec des matières inorganiques (fer) provenant du *Polipur*. Un nettoyage chimique à l'acide citrique

aurait pu permettre d'enlever une part importante du colmatage inorganique mais ce nettoyage n'a pas été fait car le projet était terminé.

### 5.3.1 Performances

Lors de la phase *PP*, la DCO particulaire, l'azote particulaire, le phosphore particulaire et les coliformes fécaux ont été complètement éliminés. Les MES ont été enlevées à 99% durant cette période (les échantillons servant à ces analyses n'étaient pas congelés comme durant les phases précédentes).

La concentration en fer dans la cuve d'aération du BRM était élevée (1 100 mg/L de fer total en moyenne) pendant la phase *PP*. Le fer est considéré à certaines concentrations comme une toxine pour les microorganismes et il a pu nuire à l'activité microbienne de la liqueur mixte (Philips et al., 2003). Le rapport MVES/MES de la liqueur mixte du BRM est descendu à une valeur moyenne d'environ 0,3 durant la phase *PP*. Malgré ce faible rapport, l'enlèvement de l'ammoniaque a été de 99% durant la phases *PP*.

La concentration moyenne de  $\text{DBO}_5$  mesurées à l'effluent du BRM a été de  $25 \pm 3$  mg/L pendant la phase *PP*, correspondant à un enlèvement de 84%. La concentration moyenne de DCO totale mesurée à l'effluent pour la période *PP* a été de  $340 \pm 160$  mg/L, correspondant à un rendement de 33%. Le taux de chargement volumétrique moyen a été  $0,88 \text{ kg DCO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  pour la période *PP*. Cette dernière valeur est légèrement inférieure aux valeurs typiques. Le rapport F/M s'est stabilisé autour de  $0,10 \text{ kg DCO} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ MLSS} \cdot \text{d}^{-1}$  pendant la phase *PP*, ce qui est conforme aux valeurs typiquement observées dans les BRM.

La concentration de phosphore à l'effluent du BRM est demeurée stable à près de  $34 \pm 15$  mg/L pour la phase *PP*, correspondant à un enlèvement de phosphore de 51%. L'enlèvement du phosphore fut meilleur lors de la phase *PP*, car le BRM traitait l'effluent non décanté du *Polipur*. Ce procédé électrochimique fait coaguler le

phosphore, l'adsorbe aux matières en suspension et ensuite l'enlève par sédimentation. Le *Polipur* ne fonctionnant qu'à tous les 3 jours environ durant la phase *PP*, son effluent non décanté devait cependant être entreposé pendant quelques jours dans des réservoirs agité avant d'être traité dans le BRM. L'agitation dans ces réservoirs et la forte aération ayant lieu dans le BRM pendant un TRB de 10 jours peuvent avoir brisé les floccs sur lesquels le phosphore soluble s'était adsorbé et causé un relargage d'orthophosphates (Fugère, 2002). Le *Polipur* peut être paramétré pour atteindre un taux de capture du phosphore supérieur de près de 98% et une concentration de phosphore inférieure à 2 mg/L (Chabot et al., 2004). Le fonctionnement en continu du *Polipur* associé avec un BRM opéré à faible âge de boues pourrait probablement permettre de diminuer le relargage d'orthophosphates et d'améliorer ainsi l'efficacité d'enlèvement de ce nutriment.

Il semble possible de conclure à la lumière de ces résultats que l'intégration d'un BRM en aval du *Polipur* constitue une barrière efficace en ce qui concerne les MES, l'ammoniaque et les coliformes fécaux. Toutefois, la performance d'enlèvement de la DBO n'a pas atteint le niveau escompté en raison probablement d'une concentration de biomasse insuffisante et de la nature difficilement biodégradable de l'affluent. De plus, un enlèvement satisfaisant du phosphore n'a pu être atteint en raison du relargage d'orthophosphates.

### 5.3.2 Atteinte des cibles

Durant la phase *PP*, les cibles du projet concernant la DBO<sub>5</sub> (5 mg/L) et le phosphore (1 mg/L) n'ont pu être rencontrées. L'enlèvement de l'ammoniaque et des coliformes fécaux a été complet pour toutes les analyses effectuées durant cette période, permettant de rencontrer ces cibles. De plus, la cible d'enlèvement des MES (5 mg/L) a été atteinte durant la phase *PP*.

#### 5.4 CHOIX DES CIBLES DU PROJET

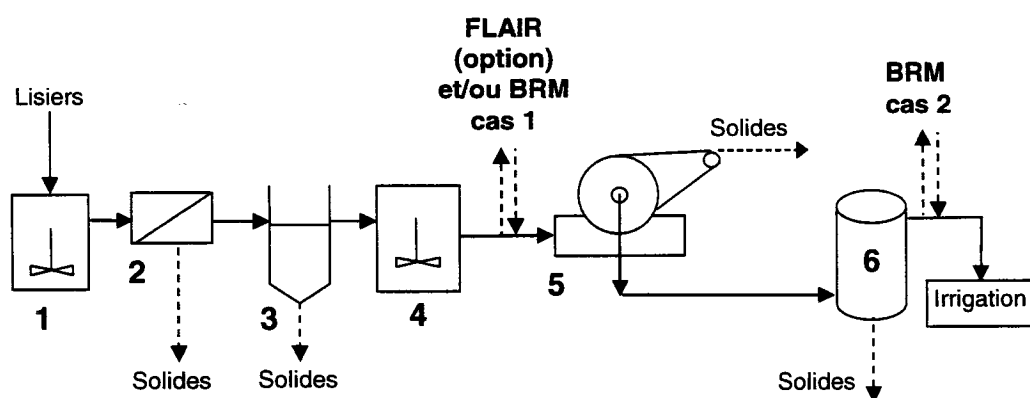
Les cibles choisies pour ce projet correspondent aux capacités de traitement typiques des BRM. Cependant, ces capacités de traitement ont généralement été observées sur des eaux usées municipales ayant des caractéristiques différentes de celles traitées dans le présent projet. Comparativement aux compositions typiques d'eaux usées municipales de force moyenne (Metcalf & Eddy, 2003), les concentrations de l'affluent du BRM de ce projet étaient environ trois fois plus élevées en MES, deux fois plus élevées en DCO, dix fois plus élevées en phosphore et cinquante fois plus élevées en métaux. De plus, les BRM qui atteignent des concentrations de phosphore inférieures à 1mg/L utilisent dans la plupart des cas un ajout de coagulant tel que l'alun ou le fer (Buisson et al., 1998).

À titre de comparaison avec les cibles de ce projet, la norme la plus sévère s'appliquant à un établissement agroalimentaire hors réseau est deux fois moins exigeante pour la DBO<sub>5</sub> et quatre fois moins exigeante pour les MES (MENV et al., 2004). Le règlement 87 de la CUM est quant à lui six fois moins exigeant pour la DBO<sub>5</sub> et les MES lors d'un rejet direct au milieu récepteur (Communauté urbaine de Montréal, 2000). Le règlement Q2.r8 sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées est trois fois moins exigeant pour la DBO<sub>5</sub> et les MES lorsqu'un système de traitement tertiaire avec déphosphatation et désinfection est utilisé (Gouvernement du Québec, 2005). Les cibles de MES et DBO<sub>5</sub> choisies pour ce projet sont donc très élevées relativement à la réglementation en vigueur.

#### 5.5 MODIFICATIONS AU FONCTIONNEMENT DE LA FILIÈRE DE TRAITEMENT BIOFERTILE

La filière de traitement *Biofertile* installée au CEPP constituait une vitrine technologique et son exploitation a cessée en décembre 2004. La compagnie Envirogain a démarrée en mai 2005 une station collective *Biofertile* située à

l'Ange-Gardien en Estrie. Cette station est caractérisée par un débit journalier moyen d'environ 80 m<sup>3</sup>/d. Les traitements en stations collectives sont moins coûteux que les traitements en stations individuelles (Envirogain inc., 2003), ce qui permet d'ajouter un procédé de déshydratation de la biomasse appelé Skimmat. Avec un tel équipement, aucun décanteur n'est nécessaire suite au bioréacteur. Le Skimmat est localisé après le bioréacteur et avant le *Polipur*. La figure 5.1 présente un schéma simplifié de la filière Biofertile collective ainsi que les deux endroits envisagés pour l'intégration d'un BRM.



1. Bassin d'homogénéisation 2. Séparateur 3. Décanteur 4. Bioréacteur 5. Skimmat 6. Polipur

**Figure 5.1 Schéma simplifié de fonctionnement de la filière Biofertile collective et points d'intégration d'un BRM.**

L'expérimentation au CEPP a démontré qu'un BRM peut épurer le liquide de façon égale ou supérieure au *Flair* (exception faite de la dénitrification qui nécessiterait qu'une zone anoxie et qu'une source additionnelle de carbone soient ajoutés). Les filtres à lit ruisselant (*Flair*) pourraient donc être optionnels pour l'épuration de l'air et la réduction des gaz à effet de serre. L'air contenu dans le bassin d'homogénéisation pourrait servir à l'aération du BRM et ainsi être épuré en partie. Il serait ainsi possible de réduire la taille de ce procédé lorsqu'un client choisi quand même d'intégrer un *Flair* pour l'élimination des odeurs et des émissions de gaz. Deux scénarios sont donc envisageables pour intégrer un BRM dans une telle station. Le premier consisterait à installer un BRM après le bioréacteur. Le second scénario consisterait à installer le BRM après le *Polipur*.

En se basant sur les résultats obtenus, l'intégration d'un BRM après le bioréacteur (cas 1) permettrait d'améliorer l'efficacité des procédés qui suivent et d'en diminuer la taille. Suite au passage du liquide à l'ultrafiltration, Fugère (2002) a observé que les électrodes du procédé d'électro-épuration s'encrassaient moins et qu'il y avait une amélioration importante de la décantation des floes d'hydroxydes de fer formés en absence de matières en suspension. Cependant, le procédé de déshydratation de la biomasse (Skimmat) remplit maintenant ce rôle dans la station collective en éliminant une grande partie des solides. De plus, l'absence de décanteur secondaire après le bioréacteur ferait en sorte d'augmenter de façon importante les charges au BRM et le colmatage des membranes serait trop important.

L'installation d'un BRM après le *Polipur* (cas 2) au CEPP a présenté l'inconvénient de conserver quand même un résiduel de phosphore soluble. La concentration de phosphore soluble mesuré à l'affluent du BRM était la même durant les phases *PP* et *DCI-a*, alors que l'on se serait attendu à ce que cette concentration soit plus faible lors de la phase *PP*. Cependant, la présence de phosphore résiduel peut être expliqué par un relargage due aux conditions de vieillissement des boues et aux zones anoxiques dans le BRM ainsi qu'à la forte agitation dans les réservoirs d'entreposage de l'affluent durant cette période. Le fonctionnement en continu du *Polipur* associé à un BRM représente un meilleur potentiel d'enlèvement du phosphore. L'installation d'un BRM après le *Polipur* permettrait d'éliminer le décanteur qui lui est associé. Par contre, un suivi du colmatage inorganique devrait être fait pour éviter de réduire prématurément la durée de vie des membranes.

## 5.2 ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Une étude technico-économique a été réalisée pour l'intégration d'un BRM dans une station Biofertile collective de 80 m<sup>3</sup>/d. Le choix de ce débit a été fait, car un projet de

cette capacité est en démarrage actuellement. L'estimation budgétaire des coûts du BRM a été faite par Zenon Environmental Corporation en se basant sur les caractéristiques de l'affluent mesurées lors de l'expérimentation au CEPP (voir à l'annexe A pour plus de détails sur l'estimé budgétaire). Le tableau 5.3 présente les coûts d'un BRM pour une station Biofertil collective de 80 m<sup>3</sup>/d.

**Tableau 5.3 Coûts d'un BRM pour une station Biofertil collective de 80 m<sup>3</sup>/d**

Débit de lisier traité:

80 m<sup>3</sup>/d

Description	Montants	Références	Incluant
Capitalisation directe :	283000 \$	(estimé par Zenon, 2005)	Équipements de procédés, tuyauterie, électricité instrumentation, contrôle
Période de l'amortissement:	10 ans		
Amortissement:	28300 \$/an		
Intérêts sur le capital à rembourser	12451 \$/an	(8% intérêts/an sur 10 ans)	voir calculs à l'annexe B
	40751 \$/an		
<b>Capitalisation totale:</b>	<b>1.40 \$/m<sup>3</sup></b>		
Coûts typiques de main-d'oeuvre:	0.08 \$/m <sup>3</sup>	(tiré de Côté et al., 2004)	Main-d'œuvre
Coûts typiques de matériel:	0.08 \$/m <sup>3</sup>	(tiré de Côté et al., 2004)	Remplacement d'équipement, remplacement de membrane
Coûts typiques d'énergie:	0.14 \$/m <sup>3</sup>	(tiré de Côté et al., 2004)	Énergie
Coûts typiques de produits chimiques:	0.03 \$/m <sup>3</sup>	(tiré de Côté et al., 2004)	Nettoyages chimiques de membrane
<b>Coûts typiques d'opération et entretien:</b>	<b>0.33 \$/m<sup>3</sup></b>		
<b>Coût total :</b>	<b>1.73 \$/m<sup>3</sup></b>		

Le fabricant affirme qu'un peu plus de 4 modules ZW 500A seraient requis pour un flux de conception de 17 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> (10 gfd). Cette dernière valeur est assez conservatrice, car durant l'expérimentation, une valeur stable de flux d'environ 24 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> a pu être atteinte pour la phase *DCI-b* et une valeur moyenne de flux de 27 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> a été observée pour la phase *PP*. Deux cassettes de trois modules membranaires ont été proposées par le fabricant. Ceci permet au système d'opérer au débit de conception sur une seule cassette pendant une période n'excédant pas 24 heures pour maintenir la production pendant un nettoyage. Le fait d'avoir 6 modules membranaires, alors que seulement un peu plus que 4 sont requis, donnerait aussi une



capacité de traitement supplémentaire qui permettrait de traiter efficacement 120 m<sup>3</sup>/d (le goulot d'étranglement actuel de la station Biofertile collective).

Selon Envirogain, l'élimination des 2 *Flair* de la station collective Biofertile permettrait aussi d'éliminer les 2 bassins décanteurs et les 6 pompes qui y sont associés. Ceci pourrait être envisagé pour les deux scénarios d'intégration d'un BRM. Une réduction du volume du bâtiment serait également possible avec l'élimination de ces procédés. Le second scénario (qui consiste à intégrer un BRM après le *Polipur*) permettrait en plus d'éliminer le décanteur et la pompe associés au *Polipur*. Le tableau 5.4 présente une comparaison de coûts prévus pour les deux scénarios d'intégration d'un BRM à la station collective Biofertile.

**Tableau 5.4 Comparaison de surcoûts associés à l'intégration d'un BRM à une station collective Biofertile de 80 m<sup>3</sup>/d**

Description	Scénario 1: (sans FLAIR)	Scénario 2: (sans FLAIR)
	BRM après le bioréacteur	BRM après le Polipur
BRM: capitalisation et intérêts	1.40 \$/m <sup>3</sup>	1.40 \$/m <sup>3</sup>
BRM: coûts d'opération et d'entretien	0.33 \$/m <sup>3</sup>	0.33 \$/m <sup>3</sup>
Élimination de 2 FLAIR, 6 pompes et 2 bassins décanteurs	-0.80 \$/m <sup>3</sup>	-0.80 \$/m <sup>3</sup>
Réduction du bâtiment grâce aux ouvrages réduits	-0.20 \$/m <sup>3</sup>	-0.20 \$/m <sup>3</sup>
Élimination du décanteur associé au Polipur et une pompe	N/A	-0.20 \$/m <sup>3</sup>
<b><i>Surcoût total (option sans FLAIR):</i></b>	<b>0.73 \$/m<sup>3</sup></b>	<b>0.53 \$/m<sup>3</sup></b>
FLAIR (taille réduite) pour option GES:	0.25 \$/m <sup>3</sup>	0.25 \$/m <sup>3</sup>
<b><i>Surcoût total (option avec FLAIR):</i></b>	<b>0.98 \$/m<sup>3</sup></b>	<b>0.78 \$/m<sup>3</sup></b>

N/A: Non-applicable

Le surcoût est calculé par opposition à une station collective Biofertile de 80 m<sup>3</sup>/d avec Flair mais sans BRM.

Le second scénario, consistant à intégrer un BRM après le *Polipur*, est donc celui qui présente les réductions de coûts les plus importantes. Lorsque les *Flair* ne sont pas requis, le surcoût total pour l'intégration d'un BRM après le bioréacteur est d'environ 0,73 \$/m<sup>3</sup> alors que le surcoût total pour l'intégration d'un BRM après le *Polipur* est d'environ 0,53 \$/m<sup>3</sup>. Dans les deux cas, l'ajout de *Flair* de dimensions réduites combinés à l'intégration d'un BRM peut être fait à un coût de 0,25 \$/m<sup>3</sup> comparativement à 0,80 \$/m<sup>3</sup> sans BRM. Ainsi, un surcoût de 0,78 \$/m<sup>3</sup> serait requis pour intégrer un BRM et des *Flair* de dimensions réduites dans une station collective Biofertile. L'ajout d'un BRM combiné à des *Flair* réduits permettrait d'obtenir une réduction des GES ainsi qu'une barrière supplémentaire relativement aux MES, aux micro-organismes et à l'azote ammoniacal.

## CHAPITRE 6 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le premier objectif de cette étude était de confirmer la possibilité d'intégrer un bioréacteur à membranes immergées (BRM) dans la filière de traitement de lisier de porcs *Solution Biofertile* pour en améliorer la performance et pour réduire les coûts d'un rejet sécuritaire de l'effluent traité. Un BRM de taille pilote a été intégré à la filière de traitement *Solution Biofertile* située au Centre d'excellence en production porcine (CEPP). L'intégration du BRM dans la filière de traitement s'est faite selon deux scénarios. Durant la phase *DCI-b*, l'effluent décanté du bioréacteur à boues activées a été utilisé pour alimenter le BRM. Lors de la phase *PP*, l'effluent non décanté du procédé électrochimique *Polipur* a été utilisé pour alimenter le BRM. Ce projet a permis de tirer des conclusions intéressantes sur l'emplacement optimal d'un BRM dans la filière *Solution Biofertile*. Ainsi,

- Alimenté par l'effluent décanté du bioréacteur à boues activées, le BRM a enlevé 77% de la DBO<sub>5</sub>, >96% des MES, 82% du NTK, 99% du NH<sub>3</sub>-N, 38% du P<sub>tot</sub> et 100% des coliformes fécaux. Les concentrations moyennes mesurées à l'effluent du BRM pour cette phase sont 30 ± 6 mg DBO<sub>5</sub>/L, <29 ± 6 mg MES/L, 22 ± 16 mg NTK-N/L, 0 mg NH<sub>3</sub>-N/L, 57 ± 7 mg Pt/L et <2 UFC/100 mL. Nous pouvons donc affirmer qu'un BRM pourrait remplacer le *Flair* dans la filière de traitement *Solution Biofertile* pour des fonctions d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> et de nitrification, tout en assurant la même performance d'enlèvement du phosphore total ainsi une performance supérieure d'enlèvement des MES et des coliformes fécaux.
- Alimenté par l'effluent non décanté du *Polipur*, le BRM a enlevé 84% de la DBO<sub>5</sub>, 99% des MES, 80% du NTK, 99% du NH<sub>3</sub>-N, 51% du P<sub>tot</sub> et 100% des coliformes fécaux. Les concentrations moyennes mesurées à l'effluent du BRM pour cette phase sont 25 ± 3 mg DBO<sub>5</sub>/L, 4 ± 1 mg MES/L, 16 ± 6 mg NTK-N/L, 0 mg NH<sub>3</sub>-N/L, 34 ± 15 mg Pt/L et <2 UFC/100 mL. Nous pouvons donc affirmer que

l'intégration d'un BRM en aval du *Polipur* constitue une barrière efficace en ce qui concerne les MES, l'ammoniaque et les coliformes fécaux.

- Le second scénario, qui consiste à intégrer un BRM après le *Polipur*, est celui qui présente les réductions de coûts les plus importantes. Lorsque les *Flair* ne sont pas requis, le surcoût total pour l'intégration d'un BRM après le bioréacteur est d'environ 0,73 \$/m<sup>3</sup> alors que le surcoût total pour l'intégration d'un BRM après le *Polipur* est d'environ 0,53 \$/m<sup>3</sup>. Lorsque les *Flair* sont requis pour la réduction des gaz à effet de serre, l'intégration d'un BRM permet d'en réduire les dimensions. Ainsi, l'ajout d'un BRM combiné à des *Flair* réduits permettrait d'obtenir, sensiblement au mêmes coûts que l'option *Flair* de pleines dimensions, une barrière supplémentaire relativement aux MES, aux micro-organismes et à l'azote ammoniacal.
- Malgré le fort potentiel de colmatage de l'affluent traité, il a été possible d'utiliser les membranes plus de 40 jours sans avoir à effectuer de lavage chimique à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou d'acide citrique. Les membranes ont montré une bonne robustesse et une bonne capacité de récupération suite aux incidents de très fortes charges en provenance de la filière de traitement.

Le site du projet était situé à près de 350 km de Montréal et les visites de contrôle n'étaient effectuées qu'hebdomadairement. Ces contraintes ont fait en sorte que les stratégies d'opération du BRM ont été assez conservatrices pour permettre un fonctionnement sans supervision durant plusieurs jours. Une supervision quotidienne aurait sûrement permis d'être moins conservateurs, de faire un meilleur suivi et d'optimiser les performances du BRM.

La mise en place d'un BRM pilote sur le site de la station collective Biofertile permettrait de confirmer les observations et conclusions avancées dans ce mémoire. Ceci permettrait de :

- Suivre la performance d'un BRM associé au *Polipur* sur une plus longue période que celle utilisée dans le cadre de cette étude (40 jours seulement pour la phase PP au CEPP);
- Déterminer le potentiel de colmatage inorganique irréversible et étudier des stratégies de nettoyage chimique des membranes pour ces conditions par des études à long terme;
- Déterminer le potentiel de dénitrification du BRM dans une perspective de disposition de l'effluent par infiltration. Une zone anoxie pourrait être ajoutée à la cuve d'aération du BRM ou une aération intermittente du BRM pourrait être utilisée. Une source additionnelle de carbone serait par contre nécessaire pour quadrupler le rapport DBO:N de l'affluent du BRM. Pour y arriver, du lisier en provenance d'un autre endroit plus en amont dans la chaîne de traitement pourrait être ajouté au BRM avec un contrôle du dosage en temps réel;
- Étudier les effets d'un TRB plus élevé sur l'enlèvement de la matière organique soluble, sur l'enlèvement du phosphore ainsi que sur la production de boues du BRM.

## RÉFÉRENCES

- ADAM, C., GNIRSS, R., LESJEAN, B., BUISSON, H., KRAUME, M. 2002. "Enhanced biological phosphorus removal in membrane bioreactors". *Water Science and Technology*. **46**(4-5): 281-286.
- ADHAM, S., GAGLIARDO, P., BOULOS, L., OPPENHEIMER, J., TRUSSELL, R. 2001. "Feasibility of the membrane bioreactor process for water reclamation". *Water Science and Technology*. **43**(10): 203-209.
- APHA, AWWA, WEF . 1998. *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.*. Washington, DC : American Public Health Association.
- BAPE. 2003. L'inscription de la production porcine dans le développement durable (Rapport d'enquête et d'audience publique). [www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/publications/bape179\\_princ.pdf](http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/publications/bape179_princ.pdf). [En ligne.] (Page consultée le 23 février 2005)
- BARIL, P. 2002. Impacts de la production porcine sur le milieu naturel (présentation à la Commission sur le développement durable de l'industrie porcine). [www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/BIO7.pdf](http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/BIO7.pdf). [En ligne]. (Page consultée le 23 février 2005)
- BOUCHARD, C., KOUADIO, P., ELLIS, D., RAHNI, M. 2000. "Membrane processes and their applications in drinking water production". *Vecteur Environnement*. **33**(4): 28-38. (In French)
- BUISSON, H., COTE, P., PRADERIE, M., PAILLARD, H. 1998. "Use of immersed membranes for upgrading wastewater treatment plants". *Water Science and Technology*: **37**(9): 89-95.

- CHABOT, R., GALLOT, J.E., DUTIL, C., ROBERGE, S. 2004. *Solution Biofertilisante F, rapport final*. St-Romuald, (Qc) : Envirogain, 99 p.
- CHERYAN, M. 1998. *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Lancaster, PA : Technomic Publishing Co.
- CHIEMCHAISRI, C., WONG, Y.K., URASE, T., YAMAMOTO, K. 1992. "Organic stabilization and nitrogen removal in membrane separation bioreactor for domestic wastewater treatment". *Water Science and Technology*: **25**(10): 231-240.
- CHOKSUCHART, P., HERAN, M., GRASMICK, A. 2002. "Ultrafiltration enhanced by coagulation in an immersed membrane system". *Desalination*. 145(1-3): 265-272.
- CICEK, N. 2003. "A review of membrane bioreactors and their potential application in the treatment of agricultural wastewater". *Canadian Biosystems Engineering / Le Génie des biosystèmes au Canada*. **44**:637-649.
- CICEK, N., FRANCO, J.P., SUIDAN, M.T., URBAIN, V. 1999a. "Characterization and comparison of a membrane bioreactor and a conventional activated-sludge system in the treatment of wastewater containing high-molecular-weight compounds". *Water Environment Research*. 71(1): 64-70.
- CICEK, N., FRANCO, J.P., SUIDAN, M.T., URBAIN, V. 1999b-. "Effect of Phosphorus on Operation and Characteristics of MBR". *Journal of Environmental Engineering*. **125**(8): 738-746.
- CICEK, N., WINNEN, H., SUIDAN, M.T., WRENN, B.E. 1998. "Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular weight compounds". *Water Research*. 32(5): 1553-1563.

- COMMUNAUTÉ URBAINE DE MONTRÉAL. 2000. "Règlement 87-4, Règlement modifiant le règlement 87 relatif aux rejets des eaux usées dans les réseaux d'égouts et cours d'eau".  
[www.cmm.qc.ca/publications/documentsinsti/reglements/08.pdf](http://www.cmm.qc.ca/publications/documentsinsti/reglements/08.pdf) [En ligne.] (Page consultée le 10 mai 2005)
- CORPAQ 2003. *Programme de recherche et d'adaptation technologiques sur le traitement des fumiers*. Québec : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
- CÔTÉ, P., BUISSON, H., PRADERIE, M. 1998. "Immersed membranes activated sludge process applied to the treatment of municipal wastewater". *Water Science and Technology* **38**(4-5): 437-442.
- CÔTÉ, P., BUISSON, H., POUND, C., ARAKAKI, G. 1997. "Immersed membrane activated sludge for the reuse of municipal wastewater". *Desalination* **113**(2-3) : 189-196.
- CRAAQ. 2003. Période transitoire, Charges fertilisantes des effluents d'élevage, Valeurs de références: production porcine.  
[www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/E1.pdf](http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/E1.pdf). [En ligne.] (Page consultée le 23 février 2005)
- CÔTÉ, P., THOMPSON, D. 2000. "Wastewater treatment using membranes: The North American experience". *Water Science and Technology* **41**(10): 209-215.
- CÔTÉ, P., MASINI, M., MOURATO, D. 2004. "Comparison of membrane options for water reuse and reclamation". *Desalination* **167**(1-3): 1-11.



- DECAROLIS, J., HONG, S., TAYLOR, J. 2001. "Fouling behavior of a pilot scale inside-out hollow fiber UF membrane during dead-end filtration of tertiary wastewater". *Journal of Membrane Science*. **191**(1-2): 165-178.
- DELGADO, S., DIAZ, F., VILLARROEL, R., VERA, L. 2002. "Nitrification in a hollow-fibre membrane bioreactor". *Desalination*. 146(1-3) : 445-449.
- DUSSAULT, B. 2005. "Communications personnelles par courriel". 09 mai 2005. *Zenon Environmental Inc.*,
- DUTIL, C., CHABOT, R., BOIVIN, S., COMEAU, Y., GAGNÉ, G. 2002. "Le traitement du lisier de porc à la ferme avec la solution Biofertile". *Vecteur Environnement*. 35 (1) : p.28-31.
- ENVIROGAIN INC. 2003. Traitement et valorisation des excédents de lisiers de porcs: une occasion à saisir pour le Québec (présentation a la Commission sur le développement durable de l'industrie porcine).  
[www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO287.pdf](http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO287.pdf).  
 [En ligne.] (Page consultée le 17 mai 2005)
- FIELD, R.W., WU, D., HOWELL, J.A., GUPTA, B.B. 1995. "Critical flux concept for microfiltration fouling". *Journal of Membrane Science*. **100**(3): 259.
- FORTIN, N. 2004. "Les défis du traitement des lisiers au Québec". *Vecteur Environnement*. **37**(2): 4 p.
- FUGÈRE, R. 2002. *Ultrafiltration de lisier de porc*. Mémoire de maîtrise. École Polytechnique de Montréal.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC .2005. "Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées". *Gazette officielle du Québec*.

- HASAR, H., KINACI, C., UNLU, A. 2004. "An alternative for pre-treatment of high-strength raw whey wastewaters: Submerged membrane bioreactors". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. **79**(12) : 1361-1365.
- IRDA. 2003. Mémoire de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (présentation a la Commission sur le développement durable de l'industrie porcine). [www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO262.pdf](http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO262.pdf) [En ligne.] (Page consultée le 23 février 2005)
- JUDD, S.J.B. 2003. *Membranes for industrial wastewater recovery and re-use*. Oxford, UK : Elsevier.
- JUTEAU, P. 2003. Traitement des lisiers et usage des antibiotiques dans l'industrie porcine (présentation a la Commission sur le développement durable de l'industrie porcine). [www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO208.pdf](http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO208.pdf) [En ligne]. (Page consultée le 23 février 2005)
- KATSIKARIS, K., BOUKOUVALAS, C., MAGOULAS, K. 2005. "Simulation of ultrafiltration process and application to pilot tests". *Desalination*. **171**(1): 1-11.
- LIVINGSTON, A.G. 1994. "Extractive membrane bioreactors: A new process technology for detoxifying chemical industry wastewater". *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. **60**:117-124.
- MANEM, J., SANDERSON, R. 1996. "Membrane bioreactors". *Water Treatment Membrane Processes*. Sous la direction de AWWA Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa. New York, NY : McGraw-Hill.

MAPAQ. 2003. Impacts de l'utilisation des engrais de ferme sur la qualité microbiologique des eaux souterraines. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. [www.mapaq.gouv.qc.ca/.../BE927DE0-97C8-4CCD-9C53-69EDE3E55B9/0/Impactengraisdefermeeauxsouterraines.PDF](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/.../BE927DE0-97C8-4CCD-9C53-69EDE3E55B9/0/Impactengraisdefermeeauxsouterraines.PDF) [En ligne.] (Page consultée le 20 mai 2005)

McMINN, W.A.M., KEOWN, J., ALLEN, S.J., BURNETT, M.G. 2003. "Effect of freeze-thaw process on partitioning of contaminants in ferric precipitate". *Water Research*. **37**(20): 4815-4822.

MENV, DIRECTION DES POLITIQUES DE L'EAU, SERVICE DES EAUX INDUSTRIELLES 2004. "Demande d'autorisation pour un projet agroalimentaire hors réseau, Guide du promoteur". Ministère de l'Environnement. Québec.

MENV. 2000. Guide de présentation des demandes d'autorisation pour les systèmes de traitement des eaux usées d'origine domestique; Fiche d'évaluation technique: ZenoGem. Ministère de l'Environnement. [www.menv.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/fiches/zenogem.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/fiches/zenogem.htm). [En ligne.] (Page consultée le 18 février 2005)

MENV. 2004 . L'étude sur la qualité de l'eau potable dans sept bassins versants en surplus de fumier et impacts potentiels sur la santé. Ministère de l'Environnement. [www.menv.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/sept-bassins/](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/sept-bassins/). [En ligne.] (Page consultée le 23 février 2005)

MENV. 2005. Règlement sur les exploitations agricoles. Ministère de l'Environnement. [www.menv.gouv.qc.ca/milieu\\_agri/agricole/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/index.htm). [En ligne.] (Page consultée le 30 mars 2005)

- MENV. 2003 . Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec. Ministère de l'Environnement.  
[www.menv.gouv.qc.ca/milieu\\_agri/agricole/synthese-info/synthese-info-enviro-agricole.pdf](http://www.menv.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/synthese-info/synthese-info-enviro-agricole.pdf). [En ligne.]: (Page consultée le 23 février 2005)
- METCALF & EDDY 2003. *Wastewater Engineering: Treatment And Reuse*, 4<sup>th</sup> ed. New-York : McGraw-Hill.
- MULLER, E.B., STOUTHAMER, A.H., VAN VERSEVELD, H.W., EIKELBOOM, D.H. 1995. "Aerobic domestic waste water treatment in a pilot plant with complete sludge retention by cross-flow filtration". *Water Research*. **29**(4): 1179.
- PHILIPS, S., RABAEY, K., VERSTRAETE, W. 2003. "Impact of iron salts on activated sludge and interaction with nitrite or nitrate ". *Bioresource Technology*. **88**(3) : 229-239.
- RENAULT, B. 2004. *Traitement tertiaire du lisier de porc par un bioréacteur a membranes immergées*. Mémoire de maîtrise. École Polytechnique de Montréal.
- ROSENBERGER, S., KRUGER, U., WITZIG, R., MANZ, W., SZEWZYK, U., KRAUME, M. 2002. "Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water". *Water Research*. **36**(2): 413-420.
- SHIMIZU, Y., OKUNO, Y., URYU, K., OHTSUBO, S. 1996. "Filtration characteristics of hollow fiber microfiltration membranes used in membrane bioreactor for domestic wastewater treatment". *Water Research*. **30**(10): 2385-2392.
- SMITH, J.C., DI GREGORIO, D., TALCOTT, R.M. 1969. "24th Annual Purdue Industrial Waste Conference". *Purdue University, Lafayette, IN*. pp.1300-1310

- SOFIA, A., LIU, W.-T., ONG, S.L., NG, W.J. 2004. "In-situ characterization of microbial community in an A/O submerged membrane bioreactor with nitrogen removal". *Water Science and Technology*. **50**(8): 41-48.
- STEPHENSON, T., JUDD, S., JEFFERSON, B., BRINDLE, K. 2000. *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. London, UK : IWA Publishing.
- SUWA, Y., SUZUKI, T., TOYOHARA, H., YAMAGISHI, T. 1992. "Single-stage, single-sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross-flow filtration". *Water Research*. **26**(9): 1149-1157.
- TROUVE, E., URBAIN, V., MANEM, J. 1994. "Treatment of municipal wastewater by a membrane bioreactor: Results of a semi-industrial pilot-scale study". *Water Science and Technology*: **30**(4 pt 4): 151-157.
- UEDA, T., HATA, K., KIKUOKA, Y. 1996. "Treatment of domestic sewage from rural settlements by a membrane bioreactor". *Water Science and Technology*: **34**(9 pt 5): 189-196.
- UEDA, T., HATA, K. 1999. "Domestic wastewater treatment by a submerged membrane bioreactor with gravitational filtration". *Water Research*. **33**(12): 2888-2892.
- UEDA, T., HATA, K., KIKUOKA, Y., SEINO, O. 1997. "Effects of aeration on suction pressure in a submerged membrane bioreactor". *Water Research*. **31**(3): 489-494.
- UJANG, Z., SALIM, M.R., KHOR, S.L. 2002. "The effect of aeration and non-aeration time on simultaneous organic, nitrogen and phosphorus removal using an intermittent aeration membrane bioreactor". *Water Science and Technology*. **46**(9): 193-200.

- XIAO-JUN, F., URBAIN, V., YI, Q., MANEM, J. 1996. "Nitrification and mass balance with a membrane bioreactor for municipal wastewater treatment". *Water Science and Technology*. **34**(1-2): 129-136.
- YAMAMOTO, K., HIASA, M., MAHMOOD, T., MATSUO, T. 1989. "Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank". *Water Science and Technology* **21**(4-5 pt 1): 43-54.
- YEOM, I.-T., NAH, Y.-M., AHN, K.-H. 1999. "Treatment of household wastewater using an intermittently aerated membrane bioreactor". *Desalination* **124**(1-3): 193-204.
- YOON, S.-H., KIM, H.-S., YEOM, I.-T. 2004a. "The optimum operational condition of membrane bioreactor (MBR): Cost estimation of aeration and sludge treatment". *Water Research*. **38**(1): 37-46.
- YOON, T.I., LEE, H.S., KIM, C.G. 2004b. "Comparison of pilot scale performances between membrane bioreactor and hybrid conventional wastewater treatment systems". *Journal of Membrane Science*. **242**(1-2): 5-12.
- ZEMAN, L.J., ZYDNEY, A.L. 1996. *Microfiltration and Ultrafiltration*. New York, NY : Marcel Dekker Inc.
- ZENON. 2004. Membrane Bioreactor Process Overview. [www.zenon.com/MBR](http://www.zenon.com/MBR). [En ligne]. (Page consultée le 17 janvier 2005)
- ZENON ENVIRONMENTAL INC. 2003. *ZW-10 Demonstration Unit: Installation & Operating Manual*. Oakville, (Ont.), Canada: ZENON Environmental Inc.

**ANNEXE A****ESTIMATION BUDGÉTAIRE DES COÛTS D'UN BRM**

## **ESTIMATION BUDGÉTAIRE DES COÛTS D'UN BRM**

Date de l'estimé : 09 mai 2005

**Tableau 1 Paramètres de conception**

<b>Paramètres</b>	<b>Affluent</b>	<b>Effluent</b>	<b>Unités</b>
Débit moyen	80	80	m <sup>3</sup> /d
Température	18	18	°C
DBO <sub>5</sub>	250	<5	m <sup>3</sup>
MES	700	<5	mg/L
Alcalinité	1,100	n.a.	mg/L
Turbidité	n.a.	<1	NTU
N			
NTK	120	n.a.	mg/L
NH <sub>4</sub> -N	n.a.	<10	mg/L
Coliformes fécaux	n.a.	< 2.2	UFC/100 ml

## **ÉQUIPEMENTS DE PROCÉDÉ**

Les modules de membranes sont assemblées dans des cassettes.

**Tableau 2 Modules de membranes ZENON ZeeWeed®-500**

<b>Item</b>	<b>Qté</b>	<b>Description</b>
# Modules de membranes	6	ZW 500A
# Cassettes	2	Capacité de 4 modules / cassettes



La surface membranaire est de 46,45 m<sup>2</sup> pour chacun des modules ZW 500A. Trois modules de membranes seront installés dans chacune des deux cassettes.

**Tableau 3 Caractéristiques préliminaires de la cuve du bioréacteur**

Paramètre	Valeur	Unités
Débit moyen	80	m <sup>3</sup> /d
TRH de conception	11.3	h
Volume de zone aérobie	25	m <sup>3</sup>
Volume total du réacteur	25	m <sup>3</sup>
Profondeur minimale	3	m
MLSS de conception	10-15,000	mg/L

**Tableau 4 Éléments fournis par Zenon**

Équipement	Qtés
Modules de membranes ZeeWeed® (ZW500)	6
Nombre de cassettes	2
Pompe de perméation/rétrolavage (1 en fonction, 1 en attente) avec valves et raccords	2
Soufflantes (pour les membranes et air de procédé)	2
Tuyauterie de collecte du perméat	1
Tuyauterie de distribution d'air	1

Pompe submersible de recirculation de boues (1 en fonction, 1 en attente)	2
Pompe submersible d'affluent (1 en fonction, 1 en attente)	2
Système d'aération à fine bulle	lot
Cuve de rétrolavage	1
Système d'ajout d'hydroxide de sodium pour le contrôle du pH	1
Système d'ajout de coagulant pour l'enlèvement du phosphore	1
Panneau de contrôle NEMA 12, PLC, HMI, interface modem	1
Plans et devis, manuels d'opération	3 sets
Nombre de jours pour visites de service et démarrage	10

### **PRIX BUDGÉTAIRE**

Prix budgétaire d'un BRM tel que décrit précédemment : **283 000 \$**

**ANNEXE B : calculs des coûts d'amortissement d'un BRM**

# CALCULS DES COÛTS D'AMORTISSEMENT D'UN BRM

Taux intérêts 0.08 /an

Année	Capital à rembourser	Remboursement capital	Intérêts payés
1	283000 \$	28300 \$	22640 \$
2	254700 \$	28300 \$	20376 \$
3	226400 \$	28300 \$	18112 \$
4	198100 \$	28300 \$	15848 \$
5	169800 \$	28300 \$	13584 \$
6	141500 \$	28300 \$	11320 \$
7	113200 \$	28300 \$	9056 \$
8	84900 \$	28300 \$	6792 \$
9	56600 \$	28300 \$	4528 \$
10	28300 \$	28300 \$	2264 \$
11	0 \$	28300 \$	0 \$

124520 \$ total d'intérêts  
12452 \$/an réparti également

**ANNEXE C****ANALYSES ET VALIDATION DE L’AFFLUENT**

# AFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit mesuré (L/min)	Débit ajusté (L/min)	ANALYSES													VALIDATION									
				Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCot (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	IVT (MVES / MES)	DCop / MVES	Np / MVES	Np / DCop	Pp / MVES	MES > MVES	DCot > DCot	Pt > o-PO4
03-juin	1	0,380		22,0																						
04-juin	2																									
05-juin	3																									
06-juin	4																									
07-juin	5																									
08-juin	6																									
09-juin	7	0,370		31,0		6,13	1060	224	166	N/D	N/D	N/D	40,0	30,6	6,6	57,9	30,7		0,74		0,06		0,16	OKI	OKI	
10-juin	8																									
11-juin	9																									
12-juin	10																									
13-juin	11																									
14-juin	12																									
15-juin	13																									
16-juin	14																									
17-juin	15	0,365	0,360	24,0	8,10	5,53	810	124	88	2935	312	N/D	20,1	5,6	9,6	39,3	30,6		0,71		0,16	0,01	0,10	OKI	NON!!	OKI
18-juin	16																									
19-juin	17																									
20-juin	18																									
21-juin	19																									
22-juin	20																									
23-juin	21																									
24-juin	22																									
25-juin	23																									
26-juin	24																									
27-juin	25																									
28-juin	26																									
29-juin	27	0,315	0,360	N/D	N/D	3,51	675	250	164	636	312	N/D	33,4	4,2	73,9	39,7	25,6		0,66	1,98	0,18	0,09	OKI	OKI	OKI	
30-juin	28																									
01-juil	29																									

# AFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit mesuré (L/min)	Débit ajusté (L/min)	ANALYSES												VALIDATION										
				Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCot (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	!VT (MVES / MES)	DCop / MVES	Np / MVES	Np / DCop	Pp / MVES	MES > MVES	DCot > DCot	Pt > o-PO4
02-juil	30	0,355		N/D	7,60	5,3	666	232	N/D	571	220	N/D	52,5	21,9	73,6	58,3	37,6				0,09				OKI	OKI
03-juil	31																									
04-juil	32																									
05-juil	33																									
06-juil	34																									
07-juil	35																									
08-juil	36																									
09-juil	37																									
10-juil	38																									
11-juil	39																									
12-juil	40																									
13-juil	41	0,380																								
14-juil	42			N/D	N/D	6,89	1912	1760		636	247	N/D	297	167	4,1	231	8,98							OKI	NON!!!	
15-juil	43																									
16-juil	44	0,410		N/D	N/D	5,85	1250	97	19	560	415	N/D	114,0	47,1	0,1	64,9	7,6		0,20	7,63	3,52	0,46	3,01	OKI	OKI	
17-juil	45																									
18-juil	46																									
19-juil	47																									
20-juil	48																									
21-juil	49	0,420		N/D	N/D	5,9	1110	510	170	690	545	N/D	97,2	22,9	0,1	96,3	13,1		0,33	0,85	0,44	0,51	0,49	OKI	OKI	
22-juil	50																									
23-juil	51																									
24-juil	52																									
25-juil	53																									
26-juil	54	N/D		N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D									
27-juil	55	0,420		12,0	N/D	5,67	1140	428	252	935	481	N/D	86,7	22,4	N/D	80,2	19,9		0,59	1,80	0,26	0,14	0,24	OKI	OKI	
28-juil	56																									
29-juil	57																									
30-juil	58																									
31-juil	59																									
01-août	60																									
02-août	61																									
03-août	62																									

TRH = 9,33 h

# AFFLUENT

Date	Temps (j)	Débit mesuré (L/min)	Débit ajusté (L/min)	ANALYSES												VALIDATION										
				Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOT (mg/L)	DCOT (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	IVT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOP	Pp / MVES	MES > MVES	DCOT > DCOT	Pt > o-PO4
04-août	63			13,0	N/D	4,82	1450	5980	3532	5481	766	N/D	639	23,9	1,36	776	22,3									
05-août	64	0,420																					OKI	NON!!	OKI	
06-août	65																									
07-août	66																									
08-août	67																									
09-août	68																									
10-août	69																									
11-août	70	0,390		28,0	N/D	5,37	1090	360	260	961	545	N/D	92,9	23,4	4,8	79,8	32,5		0,72	1,60	0,27	0,17	0,18	OKI	OKI	
12-août	71																									
13-août	72	0,420		24,0	N/D																					
14-août	73																									
15-août	74																									
16-août	75																									
17-août	76	0,410		26,2	8,18	5,38	1120	416	316	766	416	N/D	111,0	43,3	N/D	57,9	13,7		0,76	1,11	0,21	0,19	0,14	OKI	OKI	
18-août	77				7,92																					
19-août	78				6,87																					
20-août	79	0,300	0,360	28,0	7,78	5,16	1230	655	405	935	325	N/D	101,0	19,4	4,1	84,8	13,7		0,62	1,51	0,20	0,13	0,18	OKI	OKI	
21-août	80																									
22-août	81																									
23-août	82																									
24-août	83	0,300	0,360	26,0	7,89	5,07	880	380	215	506	311	N/D	51,4	18,0	25,4	44,8	23,8		0,57	0,91	0,16	0,17	0,10	OKI	OKI	
25-août	84				7,73																					
26-août	85				7,67																					
27-août	86	0,320	0,360	28,2	7,75	5,42	710	180	115	221	130	N/D	67,3	28,4	9,9	66,1	31,1		0,64		0,34	0,43	0,30			
28-août	87				7,82																					
29-août	88																									
30-août	89				7,72																					
31-août	90																									
01-sept	91																									
02-sept	92	0,370		24,7	7,66	5,25	810	320	190	662	195	N/D	82,4	40,9	1,1	67,0	35,1		0,59	2,46	0,22	0,09	0,17	OKI	OKI	
03-sept	93																									
04-sept	94																									
05-sept	95																									



# AFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit mesuré (L/min)	Débit ajusté (L/min)	ANALYSES												VALIDATION										
				Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCot (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	!VT (MVES / MES)	DCop / MVES	Np / MVES	Np / DCop	Pp / MVES	MES > MVES	DCot > DCot	Pt > o-PO4
06-sept	96			7,48																						
07-sept	97	0,300	0,360																							
08-sept	98	0,360		26,2	7,59	5,36	1105	485	305	900	130	N/D	87,2	43,0	3,7	76,5	29,2		0,63	2,52	0,14	0,06	0,16	OKI	OKI	OKI
09-sept	99			7,59																						
10-sept	100	0,355		24,0	8,20	5,6	1330	535	340	948	494	N/D	1151	53,4	2,6	1417	58	5500	0,64	1,34				OKI	OKI	NON!!!
11-sept	101																									
12-sept	102			7,74																						
13-sept	103			7,90																						
14-sept	104	0,320	0,360	24,5	8,15	5,39	1480	2480	1530	2117	519	N/D	194,0	36,8	4,1	200,0	43,3		0,62	1,04	0,10	0,10	0,10	OKI	OKI	OKI
15-sept	105			7,67																						
16-sept	106	0,340	0,360	26,0	8,21	6,08	1260	970	580	1468	480	173	122,0	38,2	10,6	115,0	30,9	15000	0,60	1,70	0,14	0,08	0,15	OKI	OKI	OKI
17-sept	107			7,56																						
18-sept	108																									
19-sept	109																									
20-sept	110			7,51																						
21-sept	111	0,305	0,380	23,1	8,00	5,4	2090	5600	3440	4051	662	N/D	400	64,1	2,48	375	42,2	11000						OKI	NON!!!	NON!!!
22-sept	112			7,57																						
23-sept	113																									
24-sept	114	0,370	0,400	26,0	8,11	4,83	1270	440	250	1078	364	120	172,0	N/D	1,3	89,0	28,0		0,57	2,86			0,24	OKI	OKI	OKI
25-sept	115																									
26-sept	116			7,68																						
27-sept	117			7,65																						
28-sept	118					5,34	1280	880	490	1182	597	N/D	4,7	N/D	0,2	113,0	35,4		0,56	1,19			0,16	OKI	OKI	OKI
29-sept	119			7,35																						
30-sept	120	0,370		23,0	7,62	5,49	1160	720	420	1000	558	93	249,0	N/D	0,3	111,0	21,7	13000	0,58	1,05			0,21	OKI	OKI	OKI
01-oct	121			7,60																						
02-oct	122			8,04																						
03-oct	123			7,73																						
04-oct	124			7,59																						
05-oct	125			7,74																						
06-oct	126			8,00																						
07-oct	127	0,380		22,0	7,94	7,13	1190	250	128	571	429	N/D	125,0	N/D	7,6	58,4	36,8		0,51	1,11			0,17	OKI	OKI	OKI
08-oct	128			8,01																						

# AFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit mesuré (L/min)	Débit ajusté (L/min)	ANALYSES												VALIDATION										
				Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOt (mg/L)	DCOF (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	!VT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOP	Pp / MVES	MES > MVES	DCOf > DCOt	Pt > o-PO4
09-oct	129				7,94																					
10-oct	130				8,04																					
11-oct	131				7,98																					
12-oct	132				8,20																					
13-oct	133																									
14-oct	134	0,355	0,430	22,0	8,01	6,87	1050	64	38	545	455	N/D	93,5	N/D	13,2	66,4	44,6			2,37		0,57	OKI	OKI	OKI	
15-oct	135				7,81																					
16-oct	136				7,72																					
17-oct	137				7,75																					
18-oct	138																									
19-oct	139																									
20-oct	140																									
21-oct	141	0,385																								
22-oct	142	0,430			8,57																					
23-oct	143	0,430			8,32																					
24-oct	144	0,420			8,38																					
25-oct	145	0,420			8,50																					
26-oct	146	0,390		17,0	8,40	6,8	1370	917	283	442	247	N/D	96,0	N/D	2,5	40,4	11,0	3200	0,31	0,69		0,10	OKI	OKI	OKI	
27-oct	147																									
28-oct	148	0,410		18,0	8,35																					
29-oct	149																									
30-oct	150																									
31-oct	151																									
01-nov	152																									
02-nov	153	0,420		17,0	8,44																					
03-nov	154	0,425		17,0	8,41	4,89	1600	1227	358	740	455	N/D	119,0	70,3	1,6	58,1	10,0	2300	0,29	0,80	0,14	0,17	0,13	OKI	OKI	
04-nov	155	0,420		18,0	8,37																					
05-nov	156	0,420		18,0	8,31																					
06-nov	157	0,420		18,0	8,30																					
07-nov	158	0,420		17,0	8,34																					
08-nov	159	0,420		17,0	8,31																					
09-nov	160	0,410		16,0	8,21																					
10-nov	161	0,395		16,0	8,12	5,77	1200	680	190	558	455	N/D	66,2	41,2	25,1	75,3	32,4		0,28	0,54	0,13	0,24	0,23	OKI	OKI	



# AFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit mesuré (L/min)	Débit ajusté (L/min)	ANALYSES														VALIDATION							
				Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOT (mg/L)	DCOF (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	IVT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOP	Pp / MVES	MES > MVES	DCOF > DCOF
Cv =		11%		28%	3%	15%	30%	51%	56%	21%	29%	N/D	41%	58%	134%	28%	45%	N/D	33%	93%	166%	82%	170%		

## Phase DC1-b: valeurs aberrantes non-incluses

No de valeurs:	13	12	41
Moyenne =	0,342	25	7,8
Écart type =	0,0282	1,8	0,22
Cv =	8%	7%	3%

## Phase POLIPUR: valeurs aberrantes non-incluses

No. de valeurs:	23	28	32	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	3	6	6	6	5	5	6
Moyenne =	0,414	16	8,3	5,47	1300	699	222	504	353	155	80	40	16	69	28	2233	0,33	0,65	0,18	0,31	0,20	
Écart type =	0,0112	1,4	0,14	0,83	155	291	75	143	98	78,763	23	16	11	17	15	818	0,04	0,23	0,05	0,12	0,06	
Cv =	3%	9%	2%	15%	12%	42%	34%	28%	28%	51%	28%	39%	70%	25%	52%	37%	11%	36%	26%	38%	31%	
Médiane =	0,420	16,0	8,3	5,6	1255,0	587,5	186,5	513,0	377,0	174,0	74,1	35,0	18,6	70,2	31,3	2300,0	0,33	0,62	0,17	0,24	0,23	

## Phase DC1-a & DC1-b: valeurs aberrantes non-incluses

No de valeurs:	25	19	46	24	23	20	19	20	21	3	19	16	19	20	20	5	18	18	14	15	19
Médiane =	0,37	24,50	7,75	5,40	1140	422	252	833	416	120	94	26	4	72	30	11000	0,60	1,55	0,21	0,13	0,17

**ANNEXE D****ANALYSES ET VALIDATION DE LA CUVE DU BRM**

**CUVE du BRM**

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	TRB (jours)	Débit perméat (L/min)	Débit rétro-lav (L/min)	Débit dair (cfm)	TMP product (kPa)	TMP rétro. (kPa)	Temp. (Celsius)	ANALYSES										VALIDATION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
									pH	Cond. (mS/cm)	Alc (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOI (mg/L)	DCOF (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	!VT (MVES / MES)	DCOp / MVES	Np / MVES	Np / DCOp	Pp / MVES	MES > MVES	DCOI > DCOF	Pt > o-PO4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									



# CUVE du BRM

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	TRB (jours)	Débit perméat (L/min)	Débit rétro-lav (L/min)	Débit dair (cfm)	TMP product. (kPa)	TMP rétro. (kPa)	ANALYSES										VALIDATION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
								Temp. (Celsius)	pH	Cond (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOI (mg/L)	DCOF (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	IVT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOp	Pp / MVES	MES > MVES	DCOI > DCOF	Pt > o-PO4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
13-aout	72	1	0.420	0.600	2,00	-4	6	24,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			





# CUVE du BRM

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	TRB (jours)	Débit perméat (L/min)	Débit rétro-lav (L/min)	Débit dair (cm)	TMP product. (kPa)	TMP rétro. (kPa)	Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Aic (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOI (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	P <sub>i</sub> (mg/L)	O-PO4 (mg/L)	ANALYSES										VALIDATION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
																					DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOP	Pp / MVES	MES > MVES	DCOI > DCOF	Pt > O-PO4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
26-oct	146	5	0,385	0,600	2,00	-11	15	17,0	8,15	6,64	2590	7850	2670	2545	325	N/D	199,0	N/D	47,6	325,0	17,9	0,34	0,83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</

No. de valeurs:

CUVE du BRM

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	TRB (jours)	Débit perméat (L/min)	Débit rétro-lav (L/min)	Débit dair (cfm)	TMP product. (kPa)	TMP rétro. (kPa)	ANALYSES										VALIDATION					
								Temp. (Celsius)	pH	Cond (mS/cm)	Alc (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOI (mg/L)	DCOI (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	IVT (MVES / MES)	DCOP / MVES

GLOBAL: valeurs aberrantes non-incluses

Moyenne =	0.40	0.60	2.0	-9	13	21	8,1	5,3	1848	6925	3785	3953	426	964	384	6	49	572	43	0,55	1,24	0,14	0,11	0,16
Ecart type =	0.02	0.01	0.1	7	5	5	0,2	0,8	824	3639	2047	1469	174	443	262	10	21	326	15	0,13	0,71	0,09	0,05	0,08
Cv =	5%	1%	6%	74%	42%	23%	2%	15%	45%	55%	54%	37%	41%	0	68%	169%	43%	57%	34%	24%	58%	62%	45%	51%

Phase DC1-a: valeurs aberrantes non-incluses

No. de valeurs:	13	12	13	24	13	20	5	8	8	7	5	7	7	7	0	7	7	7	7	7	5	6	6	7	6
Moyenne =	0.41	0.60	2.0	-13	6	25	7.8	5.0	1154	5789	4444	4068	449	449	13	37	451	36	0.64	1.63	0.17	0.11	0.13		
Ecart type =	0.02	0.01	0.19	11	6	5	0.1	0.9	285	4356	2544	1514	172	329	14	29	363	13	0.06	1.10	0.09	0.05	0.07		
Cv =	6%	1%	10%	84%	103%	18%	2%	18%	25%	75%	57%	37%	38%	73%	110%	80%	81%	35%	9%	68%	54%	45%	52%		

Phase DC1-b: valeurs aberrantes non-incluses

No. de valeurs.	13	13	13	43	24	38	42	13	12	12	12	12	12	12	3	9	7	11	12	12	12	12	7	7	12
Moyenne =	0.41	0.60	2.0	-6	12	24	8.0	5.5	1890	6332	3863	4300	423	1170	450	3	49	551	52	0.62	1.21	0.16	0.12	0.14	
Ecart type =	0.02	0.01	0.09	7	5	4	0.2	0.8	786	3554	2091	1587	178	165	286	12	20	319	14	0.08	0.78	0.08	0.05	0.07	
Cv =	4%	1%	5%	118%	41%	16%	3%	16%	42%	56%	54%	37%	42%	14%	64%	424%	40%	58%	28%	13%	64%	52%	41%	48%	

Phase POLIPUR: valeurs aberrantes non-incluses

No. de valeurs:	7	7	7	29	29	32	32	6	6	6	6	6	6	6	3	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	6
Moyenne =	0.38	0.60	2.0	-10	16	16	8	5	2690	9438	3081	3126	405	757	209	1	63	754	34	0.33	0.90	0.07	0.08	0.23		
Ecart type =	0.01	0.00	0.00	4	2	2	0	1	311	1938	464	358	162	528	28	1	9	285	15	0.02	0.17	0.01	0.02	0.08		
Cv =	2%	0%	0%	-40%	12%	10%	3%	16%	12%	21%	15%	11%	40%	1	13%	90%	14%	38%	45%	6%	18%	18%	20%	33%		

Débit d'affluent = 0.387 L/min en moyenne (voir affluent)  
= 23.21 L/h

Surface spécifique de la membrane = 0.930 m²

# CUVE du BRM

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	TRB (jours)	Débit perméat (L/min)	Débit rétro-lav (L/min)	Débit d'air (cfm)	TMP product. (kPa)	TMP rétro. (kPa)	Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOI (mg/L)	DCOF (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	iVT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOP	Pp / MVES	MES > MVES	DCOI > DCOI	Pt > o-PO4		
ANALYSES																															
VALIDATION																															

TMP production = 9,0 kPa  
= 0,897 bar

Débit spécifique = 27,82 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>  
271,7 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup>

## **ANNEXE E**

### **ANALYSES ET VALIDATION DE L'EFFLUENT**

# EFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/min)	ANALYSES														VALIDATION							
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOT (mg/L)	DCOT (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux	!VT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOP	Pp / MVES	MES > MVES	Pt > o-PO4
				*																				
03-juin	1	0,320	22,0																					
04-juin	2																							
05-juin	3																							
06-juin	4																							
07-juin	5																							
08-juin	6																							
09-juin	7	0,340	30,0		6,50	860	27	5	392	195	N/D	6,4	0,05	76,09	51,3	42,46		0,19				OK!	OK!	
10-juin	8																							
11-juin	9																							
12-juin	10																							
13-juin	11																							
14-juin	12																							
15-juin	13																							
16-juin	14																							
17-juin	15	0,355	24,0	8,1	5,64	45?	3	0	N/D	299	N/D	5,9	0,1	135	30,05	27,9		0,00				OK!	OK!	
18-juin	16																							
19-juin	17																							
20-juin	18																							
21-juin	19																							
22-juin	20																							
23-juin	21																							
24-juin	22																							
25-juin	23																							
26-juin	24																							
27-juin	25																							
28-juin	26																							
29-juin	27	0,315	N/D	N/D	3,21	650	9	0	273	272	N/D	14,9	0,997	73	35	28,1		0,00				OK!	OK!	
30-juin	28																							
01-juil	29																							

# EFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/min)	ANALYSES														VALIDATION							
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOt (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux	iVT (MVES / MES)	DCOp / MVES	Np / MVES	Np / DCOp	Pp / MVES	MES > MVES	Pt > o-PO4
02-juil	30	0,340	N/D	8,1	5,52	580	41	10	246	208	N/D	11,8	0,229	98	47,9	35,3		0,24					OKI	OKI
03-juil	31																							
04-juil	32																							
05-juil	33																							
06-juil	34																							
07-juil	35																							
08-juil	36																							
09-juil	37																							
10-juil	38																							
11-juil	39																							
12-juil	40																							
13-juil	41																							
14-juil	42	N/D	N/D	N/D	5,03	972	7	0	78	75	N/D	121	101	3,9	39,3	39,1		0,00					OKI	OKI
15-juil	43																							
16-juil	44		N/D	N/D	2,20	570	97	19	105	105	N/D	28,2	19,5	1,7	6,14	3,95		0,20					OKI	OKI
17-juil	45																							
18-juil	46																							
19-juil	47																							
20-juil	48																							
21-juil	49		N/D	N/D	5,63	580	7	0	260	235	N/D	32,6	12,1	16,8	51,4	23,9		0,00					OKI	OKI
22-juil	50																							
23-juil	51																							
24-juil	52																							
25-juil	53																							
26-juil	54																							
27-juil	55		N/D	N/D	5,08	850	77	12	532	429	N/D	35,9	16,7	10,7	47,3	22,9		0,16					OKI	OKI
28-juil	56																							
29-juil	57																							
30-juil	58																							
31-juil	59																							
01-aout	60																							
02-aout	61																							

# EFFLUENT

TRH = 9.33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/min)	ANALYSES														VALIDATION							
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOI (mg/L)	DCOI (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux	!VT (MVES / MES)	DCOI / MVES	Np / MVES	Np / DCOI	Pp / MVES	MES > MVES	Pt > o-PO4
03-aout	62																							
04-aout	63																							
05-aout	64		N/D	N/D	1,32	270	12	0	220	182	N/D	0,16	0,093	2,82	5,14	4,21	0,00						OKI	OKI
06-aout	65																							
07-aout	66																							
08-aout	67																							
09-aout	68																							
10-aout	69																							
11-aout	70		N/D	N/D	5,32	1150	7	0	455	390	N/D	15,2	0,904	39,5	66,6	56,1	0,00						OKI	OKI
12-aout	71																							
13-aout	72																							
14-aout	73																							
15-aout	74																							
16-aout	75																							
17-aout	76		26,7	7,94	5,32	670	3	0	338	325	N/D	14,7	0,39	52,2	52,4	46,5	0,00						OKI	OKI
18-aout	77			8,03																				
19-aout	78			7,23																				
20-aout	79		27,0	7,92	4,69	760	72	15	454	286	N/D	13,9	0,329	46,4	57,5	42,8	0,21						OKI	OKI
21-aout	80																							
22-aout	81																							
23-aout	82																							
24-aout	83		23,5	8,03	4,69	710	7	0	325	234	N/D	12,6	0,335	47,9	58,3	51	0,00						OKI	OKI
25-aout	84			8,07																				
26-aout	85			8,08																				
27-aout	86		27,5	8,07	5,10	735	7	3	169	130	N/D	9,33	0,4	48,4	49,3	43,3	0,43						OKI	OKI
28-aout	87			8,19																				
29-aout	88																							
30-aout	89																							
31-aout	90																							
01-sept	91																							
02-sept	92		24,4	8,1	5,02	1020	10	2	260	65	N/D	9,84	0,19	47,7	51,9	51,5	0	0,20					OKI	OKI
03-sept	93																							



# EFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/min)	ANALYSES														VALIDATION							
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux	!VT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOp	Pp / MVES	MES > MVES	Pt > o-PO4
04-sept	94																-							
05-sept	95																-							
06-sept	96		7,97														-							
07-sept	97																-							
08-sept	98		25,9	8,02	5,19	790	5	1	238	130	N/D	11	0,46	50,9	51,8	49,9	0,20					OKI	OKI	OKI
09-sept	99		8,04																					
10-sept	100		24,0	8,08	5,25	890	84	21	532	403	N/D	14,3	0,06	54,9	59	58,9	0	0,25				OKI	OKI	OKI
11-sept	101																							
12-sept	102		8,03														-							
13-sept	103		8,04														-							
14-sept	104		24,4	7,99	5,33	870	14	8	558	468	N/D	13,9	0,25	52,9	65	59,6	0,57					OKI	OKI	OKI
15-sept	105		8,02																					
16-sept	106		26,0	8,05	5,30	790	33	3	792	N/D	37	20,6	0,1	56,5	57,5	55,4	0	0,09				OKI	OKI	OKI
17-sept	107		8														-							
18-sept	108																-							
19-sept	109																-							
20-sept	110		8,03														-							
21-sept	111		24,3	8,03	5,45	1310	7	0	480	N/D	N/D	80,3	87,1	2,07	1,267	32,6	0	0,00				OKI	OKI	OKI
22-sept	112		7,96																					
23-sept	113																							
24-sept	114		26,0	7,96	5,05	850	85	22	416	N/D	30	257	N/D	53,7	64,3	62,4	0,26					OKI	OKI	OKI
25-sept	115																							
26-sept	116		7,89																					
27-sept	117		7,9																					
28-sept	118				4,65	800	44	13	416	N/D	N/D	240	N/D	20,2	53,9	52,3	0,30					OKI	OKI	OKI
29-sept	119		7,97																					
30-sept	120		23,0	7,95	5,11	920	56	17	377	N/D	23	62,3	N/D	27,9	62,1	59,6	0	0,30				OKI	OKI	OKI
01-oct	121		7,87																					
02-oct	122		8,11																					
03-oct	123		8,03																					
04-oct	124		7,99																					
05-oct	125		8,09																					

# EFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/min)	ANALYSES													VALIDATION								
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (ms/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOI (mg/L)	DCOI (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-P04 (mg/L)	Coliformes fécaux	IVT (MVES / MES)	DCOI / MVES	Np / MVES	Np / DCOI	Pp / MVES	MES > MVES	Pt > o-P04
06-oct	126			8,05																				
07-oct	127		22,0	8,06	6,78	770	16	4	390	N/D	N/D	28,7	N/D	74,7	40,7	36,4		0,25					OK!	OK!
08-oct	128			8,23																				
09-oct	129			8,32																				
10-oct	130			8,32																				
11-oct	131			8,4																				
12-oct	132			8,16																				
13-oct	133																							
14-oct	134		22,0	8,11	6,77	750	8	1	416	N/D	N/D	38,1	N/D	52	67,6	63,6		0,13					OK!	OK!
15-oct	135			8,26																				
16-oct	136			8,16																				
17-oct	137			8,27																				
18-oct	138			8,14																				
19-oct	139																							
20-oct	140																							
21-oct	141																							
22-oct	142			8,84																				
23-oct	143			8,68																				
24-oct	144			8,55																				
25-oct	145			8,39																				
26-oct	146		17,0	8,18	6,68	860	5	2	234	N/D	N/D	29,2	N/D	51,2	18,7	16,1	0	0,40				OK!	OK!	
27-oct	147																							
28-oct	148		18,0	8,08																				
29-oct	149																							
30-oct	150																							
31-oct	151																							
01-nov	152																							
02-nov	153		17,0	8,28																				
03-nov	154		17,0	8,03	4,83	750	3	1	623	N/D	N/D	15,6	2	72	13,2	11,2	0	0,33				OK!	OK!	
04-nov	155		18,0	7,93																				
05-nov	156		18,0	7,92																				
06-nov	157		18,0	7,91																				

# EFFLUENT

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/min)	ANALYSES														VALIDATION							
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOt (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux	IVT (MVES / MES)	DCOp / MVES	Np / MVES	Np / DCOp	Pp / MVES	MES > MVES	Pt > o-PO4
07-nov	158		17,0	7,94																				
08-nov	159		17,0	7,97																				
09-nov	160		16,0	7,99																				
10-nov	161		17,0	8,1	5,35	980	4	1	351	N/D	13,8	0,05	66,6	34	32,7		0,25						OKI	OKI
11-nov	162																							
12-nov	163		14,0	8,05																				
13-nov	164		15,0	8,03																				
14-nov	165		15,0	8,06																				
15-nov	166		14,0	8,08																				
16-nov	167		14,0	8,24	4,07	800	5	1	390	N/D	13,4	0,24	65,9	39,8	38,1	0	0,20						OKI	OKI
17-nov	168																							
18-nov	169		14,0	8,42																				
19-nov	170		16,0	8,17																				
20-nov	171		15,0	8,15																				
21-nov	172		16,0	8,12																				
22-nov	173		16,0	8,11																				
23-nov	174		15,0	8,14																				
24-nov	175		17,0	8,16	5,30	800	1	0	299	N/D	13,6	0,02	62,3	59,7	55,3		0,00					OKI	OKI	
25-nov	176																							
26-nov	177		16,0	8,15																				
27-nov	178		14,0	8,23																				
28-nov	179		14,0	8,43																				
29-nov	180		14,0	8,26																				
30-nov	181		16,0	8,29	5,22	840	3	1	117	N/D	10,6	0,05	55,8	39,8	35,7									

No. de valeurs:

GLOBAL: valeurs aberrantes non-incluses  
Moyenne = 19,0 8,1  
Écart type = 4,5 0,2  
Cv = 24% 2%

5,0 803 24,4 5,2 361 N/D 27,7 22,6 2,5 49,7 45,7 40,1 0,0 0,18  
1,1 188 29,5 7,1 154 N/D 5,2 22,9 5,5 28,0 17,2 17,0 0,0 0,15  
22% 23% 121% 135% 43% 19% 101% 219% 38% 42% 86%

# EFFLUENT

TRH = 9.33 h

Date	Temps (l)	Débit (L/min)	ANALYSES														VALIDATION									
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	Coliformes fécaux	!VT (MVES / MES)	DCOP / MVES	Np / MVES	Np / DCOP	Pp / MVES	MES > MVES	Pt > o-PO4		
Phase DC1-a: valeurs aberrantes non-incluses																										
No. de valeurs:			3	5	11	10	11	11	7	8	0	11	11	11	11	11	11	0	11							
Moyenne =			26	8	4,5	705,20	30	5	304	265	N/D	27	14	44	40	30	N/D	0,07								
Écart type =			1,3	0,1	1,44	231,58	34	7,0383	115	79,546	N/D	32	28	42	19	16	N/D	0,10								
Cv =			5%	1%	32%	33%	110%	138%	38%	30%	N/D	118%	205%	95%	47%	52%	N/D	135%								
Phase DC1-b: valeurs aberrantes non-incluses																										
No. de valeurs:			2	16	51	24	24	24	20	13	3	21	17	23	23	24	6	24								
Moyenne =			24	8,1	5,4	861,92	29	7	407	238	30	22	0	49	57	52	0	0,23								
Écart type =			1,6	0,1	0,64	153,04	28	7,8091	159	149,11	6	16,04	0	13	7	9	0	0,15								
Cv =			7%	1%	12%	18%	98%	107%	39%	63%	19%	73%	54%	27%	13%	18%	0%	100%								
Phase POLIPUR: valeurs aberrantes non-incluses																										
No. de valeurs:			28	32	6	6	6	6	6	N/D	3	6	5	6	6	6	3	5								
Moyenne =			16	8,2	5,2	838,33	4	1	336	N/D	25	16,0	0,5	62,3	34,2	31,5	0	0,24								
Écart type =			1,4	0,2	0,78	72,21	1	1	156	N/D	3	6,1	0,8	7,0	15,2	14,6	0	0,14								
Cv =			9%	3%	15%	9%	40%	58%	46%	N/D	13%	38%	163%	11%	45%	46%	0%	100%								
Médiane =			8,1	5,3	820,0	3,5	1,0	325,0	26,0	13,7	0,1	64,1	36,9	34,2	0,0	0,3	0,0	0,3								
Cibles:							5				5		10		1		200	201								
Phase DC1-a & DC1-b: valeurs aberrantes non-incluses																										
No. de valeurs:			2	46	23	23	23	23	19	13	3	20	17	22	22	23	5	23								
Médiane =			8,05	5,15	790,0	11,0	2,5	377,0	253,5	30,0	14,7	0,4	48,4	51,9	44,9	0,0	0,18									

## **ANNEXE F**

### **ANALYSES ET VALIDATION DES BOUES EXTRAITES**

# BOUES EXTRAITES

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/jour)	ANALYSES													VALIDATION								
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOt (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	!VT (MVES / MES)	DCOp / MVES	Np / MVES	Np / DCOp	Pp / MVES	MES > MVES	DCOf > DCOt	Pt > o-PO4
15-août	74																							
16-août	75																							
17-août	76																							
18-août	77																							
19-août	78																							
20-août	79				5,15	1130	1860	1190	1935	364	N/D	186	14,6	58,3	150	40,5	0,64	1,32	0,14	0,11	0,09	OKI	OKI	OKI
21-août	80																							
22-août	81																							
23-août	82																							
24-août	83																							
25-août	84																							
26-août	85																							
27-août	86																							
28-août	87																							
29-août	88																							
30-août	89																							
31-août	90																							
01-sept	91																							
02-sept	92																							
03-sept	93																							
04-sept	94																							
05-sept	95																							
06-sept	96																							
07-sept	97																							
08-sept	98		25,2	8,13	4,88	2530	4440	2880	3558	526	N/D	484	3,08	38,6	575	47,1	0,65	1,05	0,17	0,16	0,18	OKI	OKI	OKI
09-sept	99																							
10-sept	100				5,44	1300	2810	1770	3247	610	N/D	207	6,69	39,8	327	59	0,63	1,49	0,11	0,08	0,15	OKI	OKI	OKI
11-sept	101																							
12-sept	102																							
13-sept	103																							
14-sept	104		24,1	8,03	5,17	2490	11620	7060	5013	623	N/D	560	12,7	27,8	786	60,4	0,61	0,62	0,08	0,12	0,10	OKI	OKI	OKI
15-sept	105																							
16-sept	106		26,0	8,02	5,63	2390	10360	6120	5610	480	N/D	741	7,4	29,4	940	59,6	0,59	0,84	0,12	0,14	0,14	OKI	OKI	OKI

# BOUES EXTRAITES

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/jour)	ANALYSES													VALIDATION								
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	!VT (MVES / MES)	DCop / MVES	Np / MVES	Np / DCop	Pp / MVES	MES > MVES	DCot > DCOf	Pt > o-PO4
17-sept	107																							
18-sept	108																							
19-sept	109																							
20-sept	110																							
21-sept	111		23,6	8,02	4,96	4610	28200	16900	>10000	545	N/D	1669	49 6	2 34	1863	38 9						OK!	NON!!	NON!!
22-sept	112																							
23-sept	113																							
24-sept	114		26,0	7,85	4,99	2500	7260	4460	18701	416	1600	933	N/D	9 2	980	45 9	0 61	4 10	#####	#####	0 21	OK!	OK!	OK!
25-sept	115																							
26-sept	116																							
27-sept	117																							
28-sept	118																							
29-sept	119																							
30-sept	120		23 0	7 9	5 58	3350	11760	7060	8052	662	N/D	1405	N/D	5 1	912	35 3	0 60	1 05	#####	#####	0 12	OK!	OK!	OK!
01-oct	121																							
02-oct	122																							
03-oct	123																							
04-oct	124																							
05-oct	125																							
06-oct	126																							
07-oct	127		22 0	8 13	6 96	2410	8270	5010	5273	740	N/D	860	N/D	34 3	619	68 8	0 61	0 90	#####	#####	0 11	OK!	OK!	OK!
08-oct	128																							
09-oct	129																							
10-oct	130																							
11-oct	131																							
12-oct	132																							
13-oct	133																							
14-oct	134		22 0	8 11	7 02	1660	5040	3140	3247	779	N/D	507	N/D	52 3	302	71 5	0 62	0 79	#####	#####	0 07	OK!	OK!	OK!
15-oct	135																							
16-oct	136																							
17-oct	137																							
18-oct	138		22 0	8 18																				
19-oct	139																							

# BOUES EXTRAITES

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (l/jour)	ANALYSES												VALIDATION									
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCOT (mg/L)	DCOF (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	!VT (MVES / MES)	DCop / MVES	Np / MVES	Np / DCop	Pp / MVES	MES > MVES	DCOf > DCOt	Pt > o-PO4
20-oct	140																							
21-oct	141																							
22-oct	142																							
23-oct	143																							
24-oct	144																							
25-oct	145																							
26-oct	146																							
27-oct	147																							
28-oct	148																							
29-oct	149																							
30-oct	150																							
31-oct	151																							
01-nov	152																							
02-nov	153																							
03-nov	154		17,0	8,23	4,47	3020	9045	5790	2584	584	N/D	198	6,3	39,3	366	11,2	0,64	0,35	0,03	0,10	0,06	OKI	OKI	OKI
04-nov	155																							
05-nov	156																							
06-nov	157																							
07-nov	158																							
08-nov	159																							
09-nov	160																							
10-nov	161		17,0	8,08	5,48	3020	12080	3760	3325	506	N/D	N/D	2,2	51,5	N/D	22,7	0,31	0,75				OKI	OKI	OKI
11-nov	162																							
12-nov	163																							
13-nov	164																							
14-nov	165																							
15-nov	166																							
16-nov	167		14,0	8,17	4,05	2860	10550	3290	3039	532	1300	165	1,2	53,6	1047	39,3	0,31	0,76	0,05	0,07	0,31	OKI	OKI	OKI
17-nov	168																							
18-nov	169		14,0																					
19-nov	170		16,0																					
20-nov	171		15,0																					
21-nov	172		16,0																					



# BOUES EXTRAITES

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/jour)	ANALYSES												VALIDATION								
			Temp (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	!VT (MVES / MES)	DCOp / MVES	Np / DCOp	Pp / MVES	MES > MVES	DCot > DCOf	Pt > o-PO4
22-nov	173		16,0																				
23-nov	174		15,0																				
24-nov	175		17,0	8,18	5,28	2620	9460	2770	3338	416	N/D	229	2,4	50	878	49,2	0,29	1,05	0,08	0,30	OK!	OK!	OK!
25-nov	176																						
26-nov	177		16,0																				
27-nov	178		14,0																				
28-nov	179		14,0																				
29-nov	180		14,0																				
30-nov	181		16,0		5,56	2630	8920	3180	3481	143	N/D	231	2,1	49,9	942	56,9	0,36	1,05	0,07	0,28	OK!	OK!	OK!

No. de valeurs: 24 13 15 14 14 14 14 14 14 14 14 2 13 10 14 13 14

## GLOBAL: valeurs aberrantes non-inclues

Moyenne = 18,5 8,1 5,4 2422 8105 4106 5029 527 1450 516 6 39 679 48  
Écart type = 4,3 0,1 0,8 620 3236 1795 4076 158 150 365 4 16 294 16  
Cv = 23% 1% 14% 26% 40% 44% 81% 30% 10% 71% 75% 41% 43% 34%

## Phase DC1-a: valeurs aberrantes non-inclues

No. de valeurs: 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1

Moyenne = 5,2 1130 1860 1190 1935 364 186 15 58 150 41  
Écart type = 0,00 0,00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
Cv = 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0%

## Phase DC1-b: valeurs aberrantes non-inclues

No. de valeurs: 0 9 9 10 9 9 9 9 9 9 9 1 9 5 9 9 9

Moyenne = 24 8,0 5,6 2329 7695 4688 6588 605 1600 712 7 30 680 56  
Écart type = 1,6 0,1 0,77 576,05 3183 1858,7 4816 117,09 0 339,85 3 15 251 11  
Cv = 7% 1% 14% 25% 41% 40% 73% 19% 0% 48% 48% 50% 37% 21%

BOUES EXTRAITES

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Débit (L/jour)	ANALYSES													VALIDATION						
			Temp. (Celsius)	pH	Cond. (mS/cm)	Alc. (mg CaCO3/L)	MES (mg/L)	MVES (mg/L)	DCot (mg/L)	DCOf (mg/L)	DBO5 (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	NO3-N (mg/L)	Pt (mg/L)	o-PO4 (mg/L)	!VT (MVES / MES)	DCop / MVES	Np / MVES	Np / DCop	Pp / MVES	MES > MVES

Phase POLIPUR: valeurs aberrantes non-incluses

No. de valeurs:	15	4	5	5	5	5	5	5	N/D	1	4	5	5	4	5
Moyenne =	15	8	5,0	2830	10011	3758	3153	N/D	1300	205,8	2,8	48,9	808,3	35,9	
Écart type =	1,1	0,1	0,60	177	1183	1064	319	N/D	0	26,9	1,8	5,0	262,4	16,8	
Cv =	7%	1%	12%	6%	12%	28%	10%	N/D	0%	13%	63%	10%	32%	47%	

**ANNEXE G****ANALYSES DU FLUX ET DE LA PERMÉABILITÉ**

## FLUX ET PERMÉABILITÉ

TRH = 9,33 h

Date	Temps (l)	TRB (jours)	Débit perméat (L/min)	Débit rétro-lav (L/min)	Temp. (Celsius)	TMP product. (kPa)	Diff. press. (bar)	TMP rétro. (kPa)	Lavage chimique	Flux normalisé à 20 °C = $Fw_{20}$ (L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Perméabilité = $Kw = Fw_{20}/(\Delta P)$ Flux spécifique (L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> )	Perméabilité relative
											384,92	
											234,88	
03-juin	1	1	0,400	0,600	22,0	-8	0,08	7		24,84	310,55	0,40
17-juin	15	1	0,435		23,0	-18	0,18	-3		26,51	147,27	0,19
29-juin	27	1	0,435	0,575	24,0	-16	0,16	-4		26,01	162,56	0,21
02-juil	30	4	0,460	0,590	23,0	-17	0,17	3	0	28,03	164,89	0,21
13-juil	41		0,400	0,600	23,0	-5	0,05	5		24,38	487,51	0,63
21-juil	49	10	0,400	0,600	28,0	-9	0,09	4		22,17	246,28	0,32
27-juil	55	1	0,400	0,600	12,0	-15	0,15	20	0	30,05	200,30	0,26
05-août	64	1	0,400	0,600	13,0	-7	0,07	9		29,48	421,14	0,55
11-août	70	7	0,360	0,590	28,0	-35	0,35	14		19,95	57,00	0,07
13-août	72	1	0,420	0,600	24,0	-4	0,04	6	0	25,11	627,81	0,81
17-août	76	5	0,420	0,600	26,3	-7	0,07	4		24,04	343,40	0,44
20-août	79	8	0,420	0,600	27,4	-8	0,08	5		23,54	294,26	0,38
24-août	83	10	0,420	0,620	25,0	-5	0,05	8		24,64	492,79	0,64
27-août	86	10	0,420	0,620	26,7	-8	0,08	5		23,86	298,20	0,39
02-sept	92	10	0,400	0,600	24,3	-4	0,04	13		23,78	594,52	0,77
07-sept	97	10	0,415	0,600	25,0	-10	0,10	9	0	24,35	243,46	0,32
10-sept	100	10	0,415	0,600	24,0	-4	0,04	11		24,81	620,34	0,80
14-sept	104	10	0,420	0,600	24,5	-5	0,05	11		24,87	497,50	0,64
16-sept	106	10	0,420	0,600	26,0	-10	0,10	8		24,18	241,76	0,31
21-sept	111	10	0,405	0,600	24,2	-8	0,08	15		24,12	301,55	0,39
24-sept	114	10	0,405	0,600	26,0	-7	0,07	10	0	23,31	333,03	0,43
30-sept	120	10	0,395	0,600	23,0	-5	0,05	13		24,07	481,42	0,62
07-oct	127	10	0,395	0,600	22,0	-10	0,10	10		24,53	245,33	0,32
14-oct	134	10	0,390	0,600	22,0	-9	0,09	14		24,22	269,14	0,35
26-oct	146	5	0,385	0,600	17,0	-11	0,11	15		26,30	239,06	0,31
02-nov	153	10	0,390	0,600	17,0	-10	0,10	15		26,64	266,38	0,34
03-nov	154	10	0,385	0,600	17,0	-11	0,11	16		26,30	239,06	0,31
10-nov	161	10	0,365	0,600	17,0	-9	0,09	23	0	24,93	277,01	0,36
16-nov	167	10	0,375	0,600	14,0	-11	0,11	17		27,12	246,52	0,32
24-nov	175	10	0,385	0,600	17,0	-15	0,15	13		26,30	175,31	0,23
30-nov	181	10	0,375	0,600	16,0	-13	0,13	15		26,11	200,81	0,26
No. de valeurs:										30	30	
Clean water perm. (Kw <sub>0</sub> ):										270,38	772,52	1,00

## GLOBAL: valeurs aberrantes non-incluses

Moyenne =	0,40	0,60	22	-10	10
Écart type =	0,02	0,01	5	6	6
Cv =	5%	1%	21%	59%	60%

**FLUX ET PERMÉABILITÉ**

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	TRB (jours)	Débit perméat (L/min)	Débit rétro-lav (L/min)	Temp. (Celsius)	TMP product (kPa)	Diff. press. (bar)	TMP rétro. (kPa)	Lavage chimique	Flux normalisé à 20 °C = $Fw_{20}$ (L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Perméabilité = $Kw = Fw_{20}/(\Delta P)$ Flux spécifique (L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> )	Perméabilité relative
------	-----------	-------------	-----------------------	-------------------------	-----------------	-------------------	--------------------	------------------	-----------------	---	--	-----------------------

**Phase Effluent du DC1-a: valeurs aberrantes non-inclues**

No. de valeurs:	11	10	11	11	11
Moyenne =	0,41	0,60	23	-13	6
Écart type =	0,02	0,01	5	9	7
Cv =	6%	1%	23%	66%	114%

**Phase Effluent du DC1-b: valeurs aberrantes non-inclues**

No. de valeurs:	12	12	12	12	12
Moyenne =	0,41	0,60	24	-7	11
Écart type =	0,02	0,01	4	7	5
Cv =	5%	1%	17%	92%	48%

**Phase Effluent du POLIPUR: valeurs aberrantes non-inclues**

No. de valeurs:	7	7	7	7	7
Moyenne =	0,38	0,60	16	-11	16
Écart type =	0,01	0,00	1	2	3
Cv =	2%	0%	6%	-16%	18%

**ANNEXE H****ANALYSES DES MÉTAUX**



Date	Temps (t)		Affluent				Cuve BRM				Effluent				Boues extraites			
			Fer (mg/L0	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg /L.)	Fer (mg/L0	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg /L.)	Fer (mg/L0	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg /L.)	Fer (mg/L0	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg /L.)
07-oct	127		0,16	2,3			26,0	20,1			0,04	0,4			42,7	25,9		
08-oct	128																	
09-oct	129																	
10-oct	130																	
11-oct	131																	
12-oct	132																	
13-oct	133																	
14-oct	134		0,07	1,1			14,7	14,5			0,03	0,3			20,1	16,8		
15-oct	135																	
16-oct	136																	
17-oct	137																	
18-oct	138																	
19-oct	139																	
20-oct	140																	
21-oct	141																	
22-oct	142																	
23-oct	143																	
24-oct	144																	
25-oct	145																	
26-oct	146		145		40,2	102	340		325	330	0,8		11,5	78				
27-oct	147																	
28-oct	148																	
29-oct	149																	
30-oct	150																	
31-oct	151																	
01-nov	152																	
02-nov	153																	
03-nov	154		210		54,3	100	1050		425	365	3,15		12,2	74,5	800		430	395
04-nov	155																	
05-nov	156																	
06-nov	157																	
07-nov	158																	
08-nov	159																	
09-nov	160																	
10-nov	161		81		30,6	85,5	1550		460	360	1,9		11	68				
11-nov	162																	
12-nov	163																	
13-nov	164																	
14-nov	165																	
15-nov	166																	
16-nov	167		62		3													



## Fer-Al-Mg-Ca

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Affluent				Cuve BRM				Effluent				Boues extraites			
		Fer (mg/L)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fer (mg/L)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fer (mg/L)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fer (mg/L)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
30-nov	181	55		31,4	79,5	925		425	240	0,66		14,6	70	1170		540	280
No. de valeurs:		12	6	6	6	14	8	6	6	15	9	6	6	9	5	4	4

GLOBAL: toutes valeurs incluses

Moyenne =	51	5	40	91	491	60	433	323	2	5	13	73	545	58	473	323
Écart type =	64	5	8	8	572	53	54	41	6	12	2	3	568	48	41	45
Cv =	127%	98%	21%	9%	117%	88%	13%	13%	271%	264%	16%	5%	104%	82%	9%	14%

DC1-a & DC1-b: toutes valeurs incluses

Moyenne =	2	5		47	60		3	5		55	58
Écart type =	1	5		28	54		8	13		18	48
Cv =	89%	100%		59%	89%		293%	277%		32%	83%

PP : toutes valeurs incluses

Moyenne =	100	40	91	1082	433	323	1	13	73	1158	473	323
Écart type =	59	8	8	388	54	41	1	2	3	222	41	45
Cv =	60%	21%	9%	36%	13%	13%	61%	16%	5%	19%	9%	14%

**ANNEXE I****RÉGLAGES DU BRM**

# RÉGLAGES DU BRM

TRH = 9,33 h

Date	Temps (j)	Indicateur de temps BRM (heure)	Heure de la lecture (h)	Nombre d'heure d'arrêt du BRM (h)	RÉGLAGES								
					Vitesse production (sans unités)	Vitesse rétro-lav. (sans unités)	Vitesse pompe affluent (sans unités)	Vitesse pompe d'effluent ou de boues (sans unités)	Temps de production (min.)	Temps de rétro-lav. (min.)	Cycle d'extraction de boues et d'échantillonnage	Débit d'extraction de boues (L/min)	Débit d'échantillonnage d'effluent (L/min)
03-juin	1	183,23			153	190	4	5,5	9,5	0,5			
04-juin	2												
05-juin	3												
06-juin	4												
07-juin	5												
08-juin	6												
09-juin	7	329,65			153	190	4	5,5	9,5	0,5			
10-juin	8												
11-juin	9												
12-juin	10												
13-juin	11												
14-juin	12												
15-juin	13												
16-juin	14												
17-juin	15	517,28			153	190	4	5,5	9,5	0,5			
18-juin	16												
19-juin	17												
20-juin	18												
21-juin	19												
22-juin	20												
23-juin	21												
24-juin	22												
25-juin	23												
26-juin	24												
27-juin	25												
28-juin	26												
29-juin	27	803,50			163	190	4	5,5	9,5	0,5			
30-juin	28												
01-juil	29												
02-juil	30	872,86			163	190	4	5,5	9,5	0,5			
03-juil	31												
04-juil	32												
05-juil	33												
06-juil	34												
07-juil	35												
08-juil	36												
09-juil	37												
10-juil	38												
11-juil	39												
12-juil	40												
13-juil	41	849,79			147	193	4,5		9,5	0,5			
14-juil	42	905,83			147	193	4,5		9,5	0,5			
15-juil	43												
16-juil	44	906,27			147	193	3,5		9,5	0,5			
17-juil	45												
18-juil	46												
19-juil	47												
20-juil	48												
21-juil	49	1023,09			147	193	4	5	9,5	0,5	19x 4min	0,3	

Date	Temps (i)	Indicateur de temps BRM (heure)	Heure de la lecture (h)	Nombre d'heure d'arrêt du BRM (h)	RÉGLAGES								
					Vitesse production (sans unités)	Vitesse rétro-lav. (sans unités)	Vitesse pompe affluent (sans unités)	Vitesse pompe d'effluent ou de boues (sans unités)	Temps de production (min.)	Temps de rétro-lav. (min.)	Cycle d'extraction de boues et d'échantillonnage	Débit d'extraction de boues (L/min)	Débit d'échantillonnage d'effluent (L/min)
22-juil	50												
23-juil	51												
24-juil	52												
25-juil	53												
26-juil	54												
27-juil	55	1089,32			159	190	4	5	9,5	0,5	19x 4min	0,3	
28-juil	56												
29-juil	57												
30-juil	58												
31-juil	59												
01-août	60												
02-août	61												
03-août	62												
04-août	63												
05-août	64	1157,41			150	195	4	5	9	1	19x 4min	0,3	
06-août	65	1183,16											
07-août	66	1202,75											
08-août	67	1229,52											
09-août	68	1252,04											
10-août	69	1275,09											
11-août	70	1277,17			150	195	4	5	9	1	19x 4min	0,3	
12-août	71	1320,64											
13-août	72	1320,84			150	195	4	5	4,5	0,5	19x 4min	0,3	
14-août	73	1341,74											
15-août	74												
16-août	75	1390,72											
17-août	76	1414,66			150	195	4	5	4,5	0,5	19x 4min	0,3	
18-août	77	1436,41											
19-août	78	1462,24											
20-août	79	1487,32			150	195	4	5	4,5	0,5	19x 4min	0,3	
21-août	80												
22-août	81												
23-août	82												
24-août	83	1582,00			150	195	4	5	4,5	0,5	19x 4min	0,3	
25-août	84	1606,96											
26-août	85	1625,72											
27-août	86	1653,20	13,35		150	195	4	5	4,5	0,5	19x 4min	0,3	
28-août	87	1671,61											
29-août	88												
30-août	89	1728,97											
31-août	90												
01-sept	91	1767,88	10,33	2,30	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 4min	0,3	
02-sept	92	1790,10											
03-sept	93												
04-sept	94												
05-sept	95												
06-sept	96	1885,64											
07-sept	97	1912,75	13,58	2,38	150	195	4	5</					

# RÉGLAGES DU BRM

TRH = 9,33 h

Date	Temps (i)	Indicateur de temps BRM (heure)	Heure de la lecture (h)	Nombre d'heure d'arrêt du BRM (h)	RÉGLAGES								Débit d'extraction de boues (L/min)	Débit d'échantillonnage d'affluent (L/min)
					Vitesse production (sans unités)	Vitesse rétro-lav. (sans unités)	Vitesse pompe affluent (sans unités)	Vitesse pompe d'effluent ou de boues (sans unités)	Temps de production (min.)	Temps de rétro-lav. (min.)	Cycle d'extraction de boues et d'échantillonnage			
12-sept	102	2019,21												
13-sept	103	2052,55												
14-sept	104	2075,49	14,92	3,51	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		0,46
15-sept	105	2098,10												
16-sept	106	2121,71	14,08	0,95	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		0,46
17-sept	107	2131,76	10,13	10,00										
18-sept	108													
19-sept	109													
20-sept	110	2209,69												
21-sept	111	2230,42	12,83	10,04	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		0,46
22-sept	112	2254,75												
23-sept	113													
24-sept	114													
25-sept	115													
26-sept	116	2339,78												
27-sept	117	2379,97												
28-sept	118													
29-sept	119													
30-sept	120	2442,40	12,92	4,10	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		0,46
01-oct	121	2467,24												
02-oct	122	2487,13												
03-oct	123	2510,98												
04-oct	124	2534,89												
05-oct	125	2568,81												
06-oct	126	2585,11												
07-oct	127	2614,61	17,83	0,71	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		N/A
08-oct	128	2634,96												
09-oct	129	2652,56												
10-oct	130	2675,21												
11-oct	131	2702,91												
12-oct	132	2728,58												
13-oct	133													
14-oct	134				150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		N/A
15-oct	135	2800,75												
16-oct	136	2828,15												
17-oct	137	2851,14												
18-oct	138				150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		N/A
19-oct	139													
20-oct	140													
21-oct	141	2876,17	15,95		150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		N/A
22-oct	142													
23-oct	143													
24-oct	144													
25-oct	145													
26-oct	146	2994,11	13,92	0,03	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		N/A
27-oct	147													
28-oct	148	3039,67	10,52	-0,96										
29-oct	149													
30-oct	150													
31-oct	151													
01-nov	152													
02-nov	153	3063,89	14,70	99,00	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94		N/A

## RÉGLAGES DU BRM

TRH = 9,33 h

Date	Temps (l)	Indicateur de temps BRM (heure)	Heure de la lecture (h)	Nombre d'heure d'arrêt du BRM (h)	RÉGLAGES								
					Vitesse production (sans unités)	Vitesse rétro-lav. (sans unités)	Vitesse pompe affluent (sans unités)	Vitesse pompe d'effluent ou de boues (sans unités)	Temps de production (min.)	Temps de rétro-lav. (min.)	Cycle d'extraction de boues et d'échantillonnage	Débit d'extraction de boues (L/min)	Débit d'échantillonnage d'effluent (L/min)
03-nov	154	3085,22	12,18	0,15	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94	N/A
04-nov	155	3110,24	13,23	0,03									
05-nov	156	3136,21	15,22	0,01									
06-nov	157	3159,59	14,60	0,00									
07-nov	158	3174,58	5,58	-0,01									
08-nov	159	3202,15	9,15	0,00									
09-nov	160	3233,62	16,62	0,00									
10-nov	161	3255,38	14,58	0,21	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94	N/A
11-nov	162												
12-nov	163	3296,53	9,82	2,08									
13-nov	164	3325,50	14,45	-0,34									
14-nov	165	3349,77	14,72	0,00									
15-nov	166	3370,27	11,23	0,02									
16-nov	167	3397,89	15,00	0,15	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94	N/A
17-nov	168												
18-nov	169	3440,90	10,17	0,16									
19-nov	170	3458,99	10,45	6,19									
20-nov	171	3487,13	14,58	-0,01									
21-nov	172	3511,02	14,47	-0,01									
22-nov	173	3534,52	13,98	0,02									
23-nov	174	3556,46	11,92	-0,01									
24-nov	175	3585,01	16,50	0,03	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94	N/A
25-nov	176												
26-nov	177	3628,71	12,30	0,10									
27-nov	178	3650,02	9,60	-0,01									
28-nov	179	3675,33	10,92	0,01									
29-nov	180												
30-nov	181	3705,29	17,00	24,12	150	195	4	5	4,5	0,5	19x 1min	0,94	N/A

**ANNEXE J****RENDEMENTS**

## RENDEMENTS

TRH = 9,33

Date	Temps (l)	RENDEMENTS ( positif s'il y a enlèvement et négatif s'il y a production)										Coliformes fécaux
		DCOtot	DCOf	DBO5	MES	MVES	NTK-N	NH3-N	NO3-N	Pt	o-PO4	
03-juin	1											
04-juin	2											
05-juin	3											
06-juin	4											
07-juin	5											
08-juin	6											
09-juin	7	N/D	#VALEUR!		88%	97%	84%	100%	-1058%	11%	-38%	
10-juin	8											
11-juin	9											
12-juin	10											
13-juin	11											
14-juin	12											
15-juin	13											
16-juin	14											
17-juin	15	N/D	#VALEUR!		98%	100%	71%	98%	-1309%	29%	#REF!	
18-juin	16											
19-juin	17											
20-juin	18											
21-juin	19											
22-juin	20											
23-juin	21											
24-juin	22											
25-juin	23											
26-juin	24											
27-juin	25											
28-juin	26											
29-juin	27	57%	13%		96%	100%	55%	76%	1%	12%	-10%	
30-juin	28											
01-juil	29											
02-juil	30	57%	-12%		82%	#####	78%	99%	-33%	18%	6%	
03-juil	31											
04-juil	32											
05-juil	33											
06-juil	34											
07-juil	35											
08-juil	36											
09-juil	37											
10-juil	38											
11-juil	39											
12-juil	40											
13-juil	41											
14-juil	42	88%	68%		100%	100%	59%	40%	5%	83%	-338%	
15-juil	43											
16-juil	44	81%	75%		0%	0%	75%	59%	-3300%	91%	48%	
17-juil	45											
18-juil	46											
19-juil	47											
20-juil	48											
21-juil	49	62%	52%		99%	100%	66%	47%	-33500%	47%	-82%	
22-juil	50											
23-juil	51											
24-juil	52											
25-juil	53											
26-juil	54											

#VALEUR!



## RENDEMENTS

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	RENDEMENTS ( positif s'il y a enlèvement et négatif s'il y a production)										Coliformes fécaux
		DCOtot	DCOf	DBO5	MES	MVES	NTK-N	NH3-N	NO3-N	Pt	o-PO4	
27-juil	55	43%	-11%		82%	95%	59%	25%	#####	41%	-15%	
28-juil	56											
29-juil	57											
30-juil	58											
31-juil	59											
01-août	60											
02-août	61											
03-août	62											
04-août	63											
05-août	64	96%	71%		100%	100%	100%	100%	-107%	99%	81%	
06-août	65											
07-août	66											
08-août	67											
09-août	68											
10-août	69											
11-août	70	53%	17%		98%	100%	84%	96%	-721%	17%	-73%	
12-août	71											
13-août	72											
14-août	73											
15-août	74											
16-août	75											
17-août	76	56%	19%		99%	100%	87%	99%	#####	9%	-239%	
18-août	77											
19-août	78											
20-août	79	51%	-40%		89%	96%	86%	98%	-1034%	32%	-212%	
21-août	80											
22-août	81											
23-août	82											
24-août	83	36%	-5%		98%	100%	75%	98%	-89%	-30%	-114%	
25-août	84											
26-août	85											
27-août	86	24%	-30%		96%	97%	86%	99%	-389%	25%	-39%	
28-août	87											
29-août	88											
30-août	89											
31-août	90											
01-sept	91											
02-sept	92	61%	-33%		97%	99%	88%	100%	-4236%	23%	-47%	100%
03-sept	93											
04-sept	94											
05-sept	95											
06-sept	96											
07-sept	97											
08-sept	98	74%	-83%		99%	100%	87%	99%	-1276%	32%	-71%	
09-sept	99											
10-sept	100	44%	-8%		84%	94%	99%	100%	-2012%	96%	-2%	100%
11-sept	101											
12-sept	102											
13-sept	103											
14-sept	104	74%	-8%		99%	99%	93%	99%	-1187%	68%	-38%	
15-sept	105											
16-sept	106	46%	-65%		97%	99%	83%	100%	-433%	50%	-79%	
17-sept	107											
18-sept	108											
19-sept	109											
20-sept	110											
21-sept	111	88%	27%		100%	100%	80%	-36%	17%	#####	23%	

## RENDEMENTS

TRH = 9.33

[illegible]

## RENDEMENTS

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	RENDEMENTS ( positif s'il y a enlèvement et négatif s'il y a production)										
		DCOtot	DCOf	DBO5	MES	MVES	NTK-N	NH3-N	NO3-N	Pt	o-PO4	Coliformes fécaux
18-nov	169											
19-nov	170											
20-nov	171											
21-nov	172											
22-nov	173											
23-nov	174											
24-nov	175	44%	12%		100%	100%	83%	100%	-415%	42%	-11%	#DIV/0!
25-nov	176											
26-nov	177											
27-nov	178											
28-nov	179											
29-nov	180											
30-nov	181	55%	44%		99%	99%	79%	100%	-117%	39%	-10%	#DIV/0!

**GLOBAL: Caractéristiques moyennes de l'affluent et de l'effluent du BRM**

	DCOtot	DCOf		MES	MVES	NTK-N	NH3-N	NO3-N	Pt	o-PO4	Coliformes fécaux
	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Affluent: moyenne	796	381		573	303	97	32,0	13,7	77,8	27,8	7113
Affluent: écart type	371	132		466	281	49	15,2	19,8	32,3	11,3	4874
Effluent: moyenne	361	361		24,40	5,23	22,63	2,5	49,7	45,7	40,1	0,00
Effluent: écart type	154	154		29,47	7,08	22,93	5,5	28,0	17,2	17,0	0,00
<b>Rendement</b>	55%	5%		96%	98%	77%	92%	-262%	41%	-44%	100%

**PHASE EFFLUENT DU DC1-a: Caractéristiques moyennes de l'affluent et de l'effluent du BRM**

	DCOtot	DCOf	DBO5	MES	MVES	NTK-N	NH3-N	NO3-N	Pt	o-PO4	Coliformes fécaux
	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Affluent: moyenne	743	390	N/D	341	209	79	23,4	23,7	66,8	21,6	N/D
Affluent: écart type	153	114	N/D	172	117	33	13,6	31,8	18,8	9,8	N/D
Effluent: moyenne	304	N/D	N/D	30	5	27	13,8	43,6	39,9	30,1	0
Effluent: écart type	115	N/D	N/D	34	7	32	28,4	41,6	18,8	15,6	0
<b>Rendement</b>	59%	N/D	N/D	91%	98%	66%	41%	-84%	40%	-39%	N/D

**PHASE EFFLUENT DU DC1-b: Caractéristiques moyennes de l'affluent et de l'effluent du BRM**

	DCOtot	DCOf	DBO5	MES	MVES	NTK-N	NH3-N	NO3-N	Pt	o-PO4	Coliformes fécaux
	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Affluent: moyenne	998	389	129	695	415	124	37,0	7,0	91,6	32,7	10040
Affluent: écart type	454	156	33	613	379	59	10,4	7,0	41,1	6,9	3840
Effluent: moyenne	407	N/D	30	29	7	22	0,3	49,0	56,8	52,0	0
Effluent: écart type	159	N/D	6	28	8	16	0,1	13,2	7,4	9,3	0
<b>Rendement</b>	59%	N/D	77%	96%	98%	82%	99%	-600%	38%	-59%	100%

## RENDEMENTS

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	RENDEMENTS ( positif s'il y a enlèvement et négatif s'il y a production)										Coliformes fécaux
		DCOtot	DCOf	DBO5	MES	MVES	NTK-N	NH3-N	NO3-N	Pt	o-PO4	

### EFFLUENT DU POLIPUR: Caractéristiques moyennes de l'affluent et de l'effluent du BRM

	DCOtot mg/L	DCOf mg/L	DBO5	MES mg/L	MVES mg/L	NTK-N mg/L	NH3-N mg/L	NO3-N mg/L	Pt mg/L	o-PO4 mg/L	Coliformes fécaux mg/L
Affluent: moyenne	504	353	155	699	222	80	40,5	16,2	69,2	28,3	2233
Affluent: écart type	143	98	79	291	75	23	15,7	11,4	17,3	14,8	818
Effluent: moyenne	336	N/D	25	4	1	16	0,5	62,3	34,2	31,5	0
Effluent: écart type	156	N/D	3	1	1	6	0,8	7,0	15,2	14,6	0
<b>Rendement</b>	33%	N/D	84%	99%	100%	80%	99%	-285%	51%	-11%	100%

Cibles 5 5 10 1 200

**ANNEXE K****BILANS HYDRAULIQUES**

# BILANS HYDRAULIQUE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Heure de l'horloge (h)	Indicateur de temps de la pompe d'affluent (h)	Durée de la période (h)	Temps de fonctionnement de la pompe d'affluent (h)	Débit d'affluent mesuré (L/min)	Nouveau débit d'affluent réajusté (L/min)	Débit moyen d'affluent de la période (L/min)	Volume théorique d'affluent (L)	Lecture du débitmètre (m³3)	Volume mesuré d'effluent (L)	Volume mesuré de boues extraies (L)	Volume entrant (L)	Volume sortant (L)	Différence de volume (L)	Exactitude du bilan
01-sept	91															
02-sept	92															
03-sept	93															
04-sept	94															
05-sept	95															
06-sept	96															
07-sept	97															
08-sept	98	14,00	3,08													
09-sept	99															
10-sept	100	13,12	45,87	47,12	42,79	0,360		0,360	924,26		960,00	40,00	924,26	1000,00	75,74	108%
11-sept	101															
12-sept	102	6,50	84,39	41,38	38,52						678,00	34,00				
13-sept	103	15,87	115,84	33,37	31,45						595,00	28,00				
14-sept	104	14,92	137,86	97,80	91,99	0,320	0,360	0,340	1876,60		1687,00	80,00	1876,60	1767,00	-109,60	94%
15-sept	105															
16-sept	106	14,08	181,59	47,17	43,73	0,340		0,350	918,33	76,2296	645,00	36,00	918,33	681,00	-237,33	74%
17-sept	107	10,13	200,95	20,05	19,36	0,370		0,355	412,37	76,4963						

# BILANS HYDRAULIQUE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Heure de l'horloge (h)	Indicateur de temps de la pompe d'affluent (h)	Durée de la période (h)	Temps de fonctionnement de la pompe d'affluent (h)	Débit d'affluent mesuré (L/min)	Nouveau débit d'affluent réajusté (L/min)	Débit moyen d'affluent de la période (L/min)	Volume théorique d'affluent (L)	Lecture du débitmètre (m³3)	Volume mesuré d'effluent (L)	Volume mesuré de boues extraites (L)	Volume entrant (L)	Volume sortant (L)	Différence de volume (L)	Exactitude du bilan
18-sept	108															
19-sept	109															
20-sept	110															
21-sept	111	14,92	292,15	100,78	91,20	0,305	0,380	0,338	1846,80	78,1664	1670,10	80,00	1846,80	1750,10	-96,70	95%
22-sept	112	14,58	311,92	23,67	19,77	0,385		0,345	409,24	78,6870	520,60					
23-sept	113															
24-sept	114	13,50	351,49	70,58	59,34	0,370	0,400	0,375	1335,15	79,3907	1224,30	60,00	1335,15	1284,30	-50,85	96%
25-sept	115															
26-sept	116	6,33	384,74	40,83	33,25	0,400		0,400	798,00	80,0921	701,40	33,00	798,00	734,40	-63,60	92%
27-sept	117	15,37	411,40	33,03	26,66	0,390		0,395	631,84	80,6777	585,60	27,60	631,84	613,20	-18,64	97%
28-sept	118															
29-sept	119	7,05	444,00	39,68	32,60	0,380		0,385	753,06	81,3723	694,60	31,90	753,06	726,50	-26,56	96%
30-sept	120	12,92	472,19	29,87	28,19	0,370		0,375	634,28	81,8955	523,20	25,50	634,28	548,70	-85,57	87%
01-oct	121	14,00	492,86	25,08	20,67	0,385		0,378	468,18	82,3277	432,20	17,00	468,18	449,20	-18,98	96%

# BILANS HYDRAULIQUE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Heure de l'horloge (h)	Indicateur de temps de la pompe d'affluent (h)	Durée de la période (h)	Temps de fonctionnement de la pompe d'affluent (h)	Débit d'affluent mesuré (L/min)	Nouveau débit d'affluent réajusté (L/min)	Débit moyen d'affluent de la période (L/min)	Volume théorique d'affluent (L)	Lecture du débitmètre (m³3)	Volume mesuré d'effluent (L)	Volume mesuré de boues extraites (L)	Volume entrant (L)	Volume sortant (L)	Différence de volume (L)	Exactitude du bilan
02-oct	122	9,90	509,26	19,90	16,40	0,380		0,383	376,38	82,6753	347,60	20,00	376,38	367,60	-8,78	98%
03-oct	123	9,75	529,35	23,85	20,09	0,370		0,375	452,03	83,0927	417,40	19,00	452,03	436,40	-15,63	97%
04-oct	124	9,62	549,97	23,87	20,62	0,365		0,368	454,67	83,5054	412,70	21,00	454,67	433,70	-20,97	95%
05-oct	125	12,00	574,48	26,38	24,51	0,375		0,370	544,12	83,9564	451,00	21,00	544,12	472,00	-72,12	87%
06-oct	126	12,25	595,12	24,25	20,64	0,370		0,373	461,30	84,3784	422,00	22,00	461,30	444,00	-17,30	96%
07-oct	127	17,83	621,81	29,58	26,69	0,380		0,375	600,52	84,9932	614,80	26,00	600,52	640,80	40,28	107%
08-oct	128	14,18	638,58	20,35	16,77	0,380		0,380	382,36	85,2408	247,60	22,00	382,36	269,60	-112,76	71%
09-oct	129	6,80	652,83	16,62	14,25	0,380		0,380	324,90	85,5353	294,50	14,00	324,90	308,50	-16,40	95%
10-oct	130	6,45	671,23	23,65	18,40	0,375		0,378	416,76	85,9267	391,40	19,00	416,76	410,40	-6,36	98%
11-oct	131	10,15	693,91	27,70	22,68	0,365		0,370	503,50	86,3927	466,00	27,00	503,50	493,00	-10,50	98%
12-oct	132	11,83	715,26	25,68	21,35	0,370		0,368	470,77	86,8317	439,00	23,00	470,77	462,00	-8,77	98%
13-oct	133	10,83	734,75	23,00	19,49	0,360		0,365	426,83	87,2214	389,70	20,00	426,83	409,70	-17,13	96%
14-oct	134	15,08	759,35	28,25	24,60	0,355	0,430	0,358	527,67	87,7001	478,70	27,00	527,67	505,70	-21,97	96%
15-oct	135	12,03	775,38	20,95	16,03	0,390		0,410	394,34	88,0547	354,60	22,00	394,34	376,60	-17,74	96%



# BILANS HYDRAULIQUE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Heure de l'horloge (h)	Indicateur de temps de la pompe d'affluent (h)	Durée de la période (h)	Temps de fonctionnement de la pompe d'affluent (h)	Débit d'affluent mesuré (L/min)	Nouveau débit d'affluent réajusté (L/min)	Débit moyen d'affluent de la période (L/min)	Volume théorique d'affluent (L)	Lecture du débitmètre (m³3)	Volume mesuré d'effluent (L)	Volume mesuré de boues extraites (L)	Volume entrant (L)	Volume sortant (L)	Différence de volume (L)	Exactitude du bilan
16-oct	136	15.43	797,51	27.40	22.13	0.380		0.385	511.20	88.5244	469.70	21	511.20	490.7	-20.50	96%
17-oct	137	14.43	816,06	23.00	18.55	0.380		0.380	422.94	88.9167	392.30	20	422.94	412.3	-10.64	97%
18-oct	138	15.50	836,48	25.07	20.42	0.375		0.378	462.51	89.3342	417.50	24	462.51	441.5	-21.01	95%
19-oct	139															
20-oct	140															
21-oct	141	15.95	897,65			0.385						0				
22-oct	142	11.22	911,29	19.27	13.64	0.430		0.408	333.50	89.6742		0				
23-oct	143	14.93	929,72	27.72	18.43	0.430		0.430	475.49	90.1400	465.80	0	475.49	465.8	-9.69	98%
24-oct	144	11.03	943,12	20.10	13.4	0.420		0.425	341.70	90.4745	334.50	0	341.70	334.5	-7.20	98%
25-oct	145	15.40	962,24	28.37	19.12	0.420		0.420	481.82	90.9535	479.00	0	481.82	479	-2.82	99%
26-oct	146	13.92	977,35	22.52	15.11	0.390		0.405	367.17	91.3284	374.90	0	367.17	374.9	7.73	102%
27-oct	147															
28-oct	148	10.52	1008,95	44.60	31.6	0.410		0.400	758.40	92.0707	742.30	35	758.40	777.3	18.90	102%
29-oct	149															

# BILANS HYDRAULIQUE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Heure de l'horloge (h)	Indicateur de temps de la pompe d'affluent (h)	Durée de la période (h)	Temps de fonctionnement de la pompe d'affluent (h)	Débit d'affluent mesuré (L/min)	Nouveau débit d'affluent réajusté (L/min)	Débit moyen d'affluent de la période (L/min)	Volume théorique d'affluent (L)	Lecture du débitmètre (m³3)	Volume mesuré d'effluent (L)	Volume mesuré de boues extraites (L)	Volume entrant (L)	Volume sortant (L)	Différence de volume (L)	Exactitude du bilan
30-oct	150															
31-oct	151															
01-nov	152															
02-nov	153	14,70	1025,96	124,18	17,01	0,390	0,420	0,390	398,03	92,4243	353,60	25	398,03	378,6	-19,43	95%
03-nov	154	12,18	1040,74	21,48	14,78	0,425		0,423	374,67	92,7976	373,30	18	374,67	391,3	16,63	104%
04-nov	155															
05-nov	156															
06-nov	157	14,60	1092,59	74,42	51,85	0,420		0,420	1306,62	94,0288	1231,20	65	1306,62	1296,2	-10,42	99%
07-nov	158	5,58	1103,15	14,98	10,56	0,420		0,420	286,11	94,2708	242,00	12	286,11	254	-12,11	95%
08-nov	159	9,15	1122,51	27,57	19,36	0,420		0,420	487,87	94,7208	450,00	25	487,87	475	-12,87	97%
09-nov	160	16,62	1144,57	31,47	22,06	0,410		0,415	549,29	95,2352	514,40	26	549,29	540,4	-8,89	98%
10-nov	161	14,58	1160,10	21,97	15,53	0,395		0,403	375,52	95,5931	357,90	21	375,52	378,9	3,38	101%
11-nov	162															
12-nov	163	9,82	1191,51	43,23	31,41	0,410		0,410	772,69	96,2636	670,50	19	772,69	689,5	-83,19	89%

# BILANS HYDRAULIQUE

TRH = 9,33

Date	Temps (l)	Heure de l'horloge (h)	Indicateur de temps de la pompe d'affluent (h)	Durée de la période (h)	Temps de fonctionnement de la pompe d'affluent (h)	Débit d'affluent mesuré (L/min)	Nouveau débit d'affluent réajusté (L/min)	Débit moyen d'affluent de la période (L/min)	Volume théorique d'affluent (L)	Lecture du débitmètre (m³3)	Volume mesuré d'effluent (L)	Volume mesuré de boues extraites (L)	Volume entrant (L)	Volume sortant (L)	Différence de volume (L)	Exactitude du bilan
13-nov	164	14,45	1211,99	28,63	20,48	0,410		0,410	503,81	96,7444	480,80	19	503,81	499,8	-4,01	99%
14-nov	165	14,72	1229,18	24,27	17,19	0,410		0,410	422,87	97,1460	401,60	20	422,87	421,6	-1,27	100%
15-nov	166	11,23	1243,70	20,52	14,52	0,410		0,410	357,19	97,4783	332,30	17	357,19	349,3	-7,89	98%
16-nov	167	15,00	1263,67	27,77	19,97	0,410		0,410	491,26	97,9271	448,80	24	491,26	472,8	-18,46	96%
17-nov	168															
18-nov	169	10,17	1295,07	43,17	31,40	0,420		0,415	781,86	98,6401	713,00	38	781,86	751	-30,86	96%
19-nov	170	10,45	1308,38	24,28	13,31	0,410		0,415	331,42	98,9352	295,10	14	331,42	309,1	-22,32	93%
20-nov	171	14,58	1328,60	28,13	20,22	0,410		0,410	497,41	99,4029	467,70	25	497,41	492,7	-4,71	99%
21-nov	172	14,47	1345,65	23,88	17,05	0,410		0,410	419,43	99,9004	497,50	19	419,43	516,5	97,07	123%
22-nov	173	13,98	1362,30	23,52	16,65	0,410		0,410	409,59	100,1909	290,50	20	409,59	310,5	-99,09	76%
23-nov	174	11,92	1377,96	21,93	15,66	0,410		0,410	385,24	100,5559	365,00	17	385,24	382	-3,24	99%
24-nov	175	16,50	1398,36	28,58	20,4	0,420		0,415	507,96	101,0242	468,30	27	507,96	495,3	-12,66	98%
25-nov	176															
26-nov	177	12,30	1429,30	43,80	30,94	0,410		0,413	766,69	101,7602	736,00	38	766,69	774	7,31	101%

# BILANS HYDRAULIQUE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Heure de l'horloge (h)	Indicateur de temps de la pompe d'affluent (h)	Durée de la période (h)	Temps de fonctionnement de la pompe d'affluent (h)	Débit d'affluent mesuré (L/min)	Nouveau débit d'affluent réajusté (L/min)	Débit moyen d'affluent de la période (L/min)	Volume théorique d'affluent (L)	Lecture du débitmètre (m³3)	Volume mesuré d'effluent (L)	Volume mesuré de boues extraites (L)	Volume entrant (L)	Volume sortant (L)	Différence de volume (L)	Exactitude du bilan
27-nov	178	9,60	1444,52	21,30	15,22	0,410		0,410	374,41	102,0994	339,20	15	374,41	354,2	-20,21	95%
28-nov	179	10,92	1462,66	25,32	18,14	0,405		0,408	444,07	102,5087	409,30	24	444,07	433,3	-10,77	98%
29-nov	180															
30-nov	181	17,00	1483,62	65,00	20,96	0,410		0,408	513,10	102,9828	474,10	37	513,10	511,1	-2,00	100%

No. de valeurs:

62 60 60 59 5 58 56 58 55 55 55 55

Moyenne globale =

33,86 25,2 0,391 0,398 0,392 573 90,2658 538 25 583 561 -23 96%

Moyenne DC1-b =

34,19 29,8 0,370 0,393 0,372 646 83,6154 597 30 664 627 -37 94%

Moyenne PP =

33,52 20,2 0,411 0,420 0,412 500 96,4577 475 20 506 497 -9 98%

**ANNEXE L****BILANS DE MASSE**

**BILANS DE MASSE**

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Débit d'affluent de la période (L/d)	Débit d'effluent de la période (L/d)	Débit de boues extraites de la période (L/d)	M DCOt affluent (g/d)	M DCOt effluent (g/d)	M DCOt boues (g/d)	Exactitude du bilan DCOt (%)	M Pt affluent (g/d)	M Pt effluent (g/d)	M Pt boues (g/d)	Exactitude du bilan Pt (%)	M Nt affluent (g/d)	M Nt effluent (g/d)	M Nt boues (g/d)	Exactitude du bilan Nt (%)	M Fer affluent (g/d)	M Fer effluent (g/d)	M Fer boues (g/d)	Exactitude du bilan Fer (%)	Taux de chargement: g DCO * L <sup>-1</sup> * d <sup>-1</sup>	F/M (kg DCO* kg <sup>-1</sup> MLSS * d <sup>-1</sup> )
01-sept	91																					
02-sept	92																					
03-sept	93																					
04-sept	94																					
05-sept	95																					
06-sept	96																					
07-sept	97																					
08-sept	98																					
09-sept	99																					
10-sept	100	470,8	489,0	20,4	446,3	260,1	66,2	73%	667,1	28,8	6,7	5%	543,1	33,8	5,0	7%					1,97	0,64
11-sept	101																					
12-sept	102																					
13-sept	103																					
14-sept	104	460,5	414,0	19,6	974,9	231,0	98,4	34%	92,1	26,9	15,4	46%	91,2	27,7	11,5	43%					4,29	0,35
15-sept	105																					
16-sept	106	467,3	328,2	18,3	686,0	259,9	102,8	53%	53,7	18,9	17,2	67%	62,0	25,3	14,1	64%					3,02	0,46
17-sept	107																					
18-sept	108																					
19-sept	109																					
20-sept	110																					
21-sept	111	439,8	397,7	19,1	1781,6	190,9			164,9		35,5		177,0	32,8	31,8	36%					7,85	0,20
22-sept	112																					
23-sept	113																					
24-sept	114	454,0	416,3	20,4	489,4	173,2	381,5	113%	40,4	26,8	20,0	116%	78,7	129,3	19,2	189%	0,363	0,025	1,673	467%	2,16	0,24
25-sept	115																					
26-sept	116	469,0	412,3	19,4																		
27-sept	117	459,1	425,5	20,1																		

# BILANS DE MASSE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Débit d'affluent de la période (L/d)	Débit d'effluent de la période (L/d)	Débit de boues extraites de la période (L/d)	M DCOt affluent (g/d)	M DCOt effluent (g/d)	M DCOt boues (g/d)	Exactitude du bilan DCOt (%)	M Pt affluent (g/d)	M Pt effluent (g/d)	M Pt boues (g/d)	Exactitude du bilan Pt (%)	M Nt affluent (g/d)	M Nt effluent (g/d)	M Nt boues (g/d)	Exactitude du bilan Nt (%)	M Fer affluent (g/d)	M Fer effluent (g/d)	M Fer boues (g/d)	Exactitude du bilan Fer (%)	Taux de chargement: g DCO * L <sup>-1</sup> * d <sup>-1</sup>	F/M (kg DCO* kg <sup>-1</sup> MLSS * d <sup>-1</sup> )
28-sept	118																					
29-sept	119	455,4	420,1	19,3																		
30-sept	120	509,7	420,4	20,5	509,7	158,5	165,0	63%	56,6	26,1	18,7	79%	127,1	37,9	28,9	53%	1,529	0,025	1,660	110%	2,25	0,21
01-oct	121	448,0	413,5	16,3																		
02-oct	122	453,9	419,2	24,1																		
03-oct	123	454,9	420,0	19,1																		
04-oct	124	457,2	415,0	21,1																		
05-oct	125	495,0	410,3	19,1																		
06-oct	126	456,5	417,6	21,8																		
07-oct	127	487,2	498,8	21,1	278,2	194,5	111,2	110%	28,5	20,3	13,1	117%	64,6	51,6	18,9	109%	0,078	0,020	0,901	1181%	1,23	0,26
08-oct	128	450,9	292,0	25,9																		
09-oct	129	469,3	425,4	20,2																		
10-oct	130	422,9	397,2	19,3																		
11-oct	131	436,2	403,8	23,4																		
12-oct	132	439,9	410,2	21,5																		
13-oct	133	445,4	406,6	20,9																		
14-oct	134	448,3	406,7	22,9	244,3	169,2	74,5	100%	29,8	25,9	6,9	110%	47,8	36,6	12,8	103%	0,031	0,012	0,461	1508%	1,08	0,27
15-oct	135	451,7	406,2	25,2																		
16-oct	136	447,8	411,4	18,4																		
17-oct	137	441,3	409,4	20,9																		
18-oct	138	442,8	399,7	23,0																		
19-oct	139																					
20-oct	140																					
21-oct	141																					
22-oct	142	415,4	0	0																		
23-oct	143	411,7	403,3	0																		
24-oct	144	408,0	399,4	0																		





## BILANS DE MASSE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Débit d'affluent de la période (L/d)	Débit d'effluent de la période (L/d)	Débit de boues extraites de la période (L/d)	M DCOt affluent (g/d)	M DCOt effluent (g/d)	M DCOt boues (g/d)	Exactitude du bilan DCOt (%)	M Pt affluent (g/d)	M Pt effluent (g/d)	M Pt boues (g/d)	Exactitude du bilan Pt (%)	M Nt affluent (g/d)	M Nt effluent (g/d)	M Nt boues (g/d)	Exactitude du bilan Nt (%)	M Fer affluent (g/d)	M Fer effluent (g/d)	M Fer boues (g/d)	Exactitude du bilan Fer (%)	Taux de chargement: g DCO * L <sup>-1</sup> * d <sup>-1</sup>	F/M (kg DCO* kg <sup>-1</sup> MLSS * d <sup>-1</sup> )
21-nov	172	421,5	499,9	19,1																		
22-nov	173	418,0	296,5	20,4																		
23-nov	174	421,5	399,4	18,6																		
24-nov	175	426,5	393,2	22,7	226,9	117,6	75,7	85%	40,4	21,7	19,9	103%	40,1	29,8	6,3	90%	18,766	0,393	28,565	154%	1,00	0,11
25-nov	176																					
26-nov	177	420,1	403,3	20,8																		
27-nov	178	421,9	382,2	16,9																		
28-nov	179	421,0	388,0	22,8																		
29-nov	180																					
30-nov	181	189,5	175,1	13,7	49,3	20,5	47,6	138%	12,3	7,0	12,9	161%	14,5	11,6	3,8	107%	10,420	0,116	15,984	155%	0,22	0,03
No. de valeurs:		55	54	50	12	13	12	13	12	13	12	11	12	13	12	11	10	10	10	10	13	13
<b>Moyenne globale::</b>		431,6	397,1	20,1	387,8	178,8	109,5	<b>74%</b>	38,3	18,5	13,3	<b>83%</b>	57,7	32,2	10,8	<b>74%</b>	23,5	0,3	9,4	<b>42%</b>	1,64	0,23
Écart-type:		43,0	48,0	2,7	241,2	64,9	87,5		20,6	8,3	6,5		28,7	8,5	8,0		27,7	0,4	11,4		1,05	0,17
<b>Moyenne DC1-b:</b>		456,8	410,6	20,8	518,4	204,7	142,8	<b>67%</b>	50,2	24,8	14,0	<b>77%</b>	78,6	35,1	15,8	<b>65%</b>	0,5	0,0	1,2	<b>239%</b>	2,28	0,35
Écart-type:		18,1	36,6	2,2	231,6	37,9	101,8		21,6	3,4	5,0		25,6	7,9	7,0		0,6	0,0	0,5		1,02	0,14
<b>Moyenne PP:</b>		407,2	383,6	19,2	204,9	137,3	62,9	<b>98%</b>	26,4	11,2	12,4	<b>89%</b>	36,9	28,7	3,9	<b>89%</b>	38,9	0,5	14,9	<b>40%</b>	0,88	0,09
Écart-type:		45,9	53,8	3,1	85,2	76,5	11,8		10,0	5,9	8,0		10,9	7,9	2,1		26,2	0,4	11,8		0,35	0,03

% de conversion =  $\frac{Q_p}{Q_a}$  où Qp = Débit de perméation = 397 (L/d)  
 Qa = 432 (L/d)  
 Qp = Débit de l'affluent = 432 (L/d)

% de conversion = 92,0%

BILANS DE MASSE

TRH = 9,33

Date	Temps (j)	Débit d'affluent de la période (L/d)	Débit d'effluent de la période (L/d)	Débit de boues extraites de la période (L/d)	M DCOt affluent (g/d)	M DCOt effluent (g/d)	M DCOt boues (g/d)	Exactitude du bilan DCOt (%)	M Pt affluent (g/d)	M Pt effluent (g/d)	M Pt boues (g/d)	Exactitude du bilan Pt (%)	M Nt affluent (g/d)	M Nt effluent (g/d)	M Nt boues (g/d)	Exactitude du bilan Nt (%)	M Fer affluent (g/d)	M Fer effluent (g/d)	M Fer boues (g/d)	Exactitude du bilan Fer (%)	Taux de chargement: g DCO * L <sup>-1</sup> * d <sup>-1</sup>	F/M (kg DCO* kg <sup>-1</sup> MLSS * d <sup>-1</sup> )
------	-----------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------	-----------------------	--------------------	------------------------------	---------------------	---------------------	------------------	----------------------------	---------------------	---------------------	------------------	----------------------------	----------------------	----------------------	-------------------	-----------------------------	---	--

Conditions d'opérations (en comparaison avec les valeurs typique de Côté, Buisson, Praderie (1997) )

	Cette étude	Typique
Charge volumétrique (kg DCO/m <sup>3</sup> /d)	0,90	1,20
Charge massique (kg DCO/kg MLSS/d)	0,2278	0,07
Concentration de liqueur mixte (g MLSS/L)	6,93	16,20
Temp de rétention hydraulique (h)	9,33	9,20
MLVSS/MLSS (%)	55%	74%